Machine Translated by Google

Vejret som kraftmultiplikator: At eje vejret i 2025

En forskningsartikel
Præsenteret til

Luftvåben ***2025***

ved

Oberst Tamzy J. Husets
oberstløjtnant James B. Near, Jr.
Overlæge William B. Shields (USA)
Maj Ronald J. Celentano Maj
David M. Mand Maj Ann E.
Mercer Maj James E.
Pugh

August 1996

Machine Translated by Google

Ansvarsfraskrivelse

2025 er en undersøgelse, der er designet til at overholde et direktiv fra luftvåbnets stabschef om at undersøge de koncepter, kapaciteter og teknologier, som USA vil have brug for for at forblive den dominerende luft- og rummagt i fremtiden. Denne rapport, der blev præsenteret den 17. juni 1996, blev udarbejdet i et skolemiljø under Forsvarsministeriet med akademisk frihed og med det formål at fremme koncepter relateret til nationalt forsvar. Synspunkterne i denne rapport er forfatternes egne og afspejler ikke den officielle politik eller holdning i det amerikanske luftvåben, forsvarsministeriet eller den amerikanske regering.

Denne rapport indeholder fiktive repræsentationer af fremtidige situationer/scenarier. Enhver lighed med virkelige personer eller begivenheder, bortset fra dem, der specifikt er nævnt, er utilsigtet og er kun til illustrationsformål.

Denne publikation er blevet gennemgået af sikkerheds- og politikkontrolmyndigheder, er uklassificeret og er godkendt til offentliggørelse.

Machine Translated by Google

Indhold

Kapitel *Side*

Ansvarsfraskrivelse.....ii

Illustrationer.....iv

Tabeller.....iv

Taksigelser.....v

Resumé vi

1 Introduktion.....1

2 Nødvendige evner.....3 Hvorfor skulle vi ville rode med vejret? .....3 Hvad mener vi med "vejrmodifikation"?.....4

3 Systembeskrivelse .....8 Det globale vejrnetværk .....8 Anvendelse af vejrmodifikation i militære operationer 10

4 Driftskoncept 13
Nedbør 13
Tåge.....16
Storme.....18 Udnyttelse af "Nærrummet" til rumkontrol.....20 Muligheder givet af rumvejrsmodifikation.....20 Kommunikationsdominans via ionosfærisk modifikation.....21 Kunstigt vejr.....27 Resumé af driftskonceptet.....28

5 Undersøgelsesanbefalinger.....31 Hvordan kommer vi derhen herfra?.....31
Konklusioner 34

Tillæg Side

Hvorfor er ionosfæren vigtig? 36

B Forskning til bedre forståelse og forudsigelse af ionosfæriske effekter.....39

C Forkortelser og definitioner 41

Bibliografi.....42

Machine Translated by Google

Illustrationer

Figur *Side*

3-1. Globalt vejrnetværk.....9

3-2. Det militære system til vejrmodificerende operationer 11

4-1. Krydsstrålemetode til generering af et kunstigt ionosfærisk spejl.....23

4-2. Kunstige ionosfæriske spejle Punkt-til-punkt-kommunikation 24

4-3. Koncept til overvågning af kunstigt ionosfærisk spejl over horisonten 25

4-4. Scenarier for forringelse af telekommunikation 26

5-1. En kernekompetenceplan til vejrmodifikation i 2025. 32

5-2. En systemudviklingskøreplan til vejrmodifikation i 2025.....34

Tabeller

Tabel *Side*

1 Matrix over operationelle kapaciteter.....vi

Machine Translated by Google

Taksigelser

Vi udtrykker vores taknemmelighed til hr. Mike McKim fra Air War College, som har bidraget med et væld af teknisk ekspertise og innovative ideer, der i væsentlig grad bidrog til vores artikel. Vi er også særligt taknemmelige for den hengivne støtte fra vores familier under dette forskningsprojekt. Deres forståelse og Tålmodighed under den krævende forskningsperiode var afgørende for projektets succes.

Machine Translated by Google

Resumé

I 2025 kan amerikanske rumfartsstyrker "eje vejret" ved at udnytte nye teknologier og fokus på udviklingen af disse teknologier til krigsførelsesapplikationer. En sådan kapacitet giver krigen jagerredskaber til at forme kampområdet på måder, der aldrig før har været mulige. Det giver muligheder for at påvirke operationer på tværs af hele konfliktspektret og er relevant for alle mulige fremtider. Formålet med dette Artiklens formål er at skitsere en strategi for brugen af et fremtidigt vejrmodificeringssystem til at opnå militære mål snarere end at udarbejde en detaljeret teknisk køreplan.

Vejrmodifikation er en højrisiko- og belønningsbestræbelse, der tilbyder et dilemma ikke ulig opsplitning af atom. Mens nogle dele af samfundet altid vil være tilbageholdende med at undersøge kontroversielle emner som f.eks. vejrmodifikation, ignoreres de enorme militære kapaciteter, der kunne resultere fra dette felt, hos os egen fare. Fra at forbedre venlige operationer eller forstyrre fjendens via skræddersyede operationer i mindre skala naturlige vejrmønstre for at fuldføre dominansen af global kommunikation og kontrol over modrummet, Vejrmodifikation giver krigsføreren en bred vifte af mulige muligheder for at besejre eller tvinge en modstander. Nogle af de potentielle muligheder, som et vejrmodificeringssystem kunne tilbyde en krigsførende øverstkommanderende (CINC) er anført i tabel 1.

Teknologiske fremskridt på fem hovedområder er nødvendige for en integreret vejrmodifikation kapacitet: (1) avancerede ikke-lineære modelleringsteknikker, (2) beregningskapacitet, (3) information indsamling og transmission, (4) et globalt sensornetværk og (5) vejrinterventionsteknikker. Interventionsværktøjer findes i dag, og andre kan blive udviklet og forfinet i fremtiden.

Machine Translated by Google

Tabel 1

Matrix for operationelle kapaciteter

Nedbryd fjendtlige styrker, forstærk venskabelige styrker

Forbedring af nedbør

- Oversvømmelse af kommunikationslinjer
- Reducer PGM/rekognosceringseffektivitet
- Sænk komfortniveau/moral

Undgåelse af nedbør

- Vedligehold/forbedr LOC
- Bevar synlighed
- Oprethold komfortniveau/moral

Stormforbedring

- Afvis operationer

Stormmodifikation

- Vælg kampmiljø

Nedbørsbenægtelse

- Nægt ferskvand
- Fremkalde tørke

Rumvejr

- Forbedre kommunikationens pålidelighed
- Opfang fjendtlige transmissioner
- Genopliv rumaktiver

Rumvejr

- Forstyrr kommunikation/radar
- Deaktiver/ødelæg rumaktiver

Tåge- og skydannelse

- Øget skjuling

Fjernelse af tåge og skyer

- Benægte fortielse
- Øget sårbarhed over for PGM/rekognoscering

Fjernelse af tåge og skyer

- Vedligeholde flyvepladsens drift
- Forbedre PGM-effektiviteten

Opdag fjendtlige vejraktiviteter

Forsvar mod fjendtlige evner

Nuværende teknologier, der vil modnes i løbet af de næste 30 år, vil tilbyde alle, der har de nødvendige ressourcer evnen til at ændre vejrmønstre og deres tilsvarende effekter, i det mindste på lokal skala. Nuværende demografiske, økonomiske og miljømæssige tendenser vil skabe globale belastninger, der giver den nødvendige drivkraft for mange lande eller grupper til at omdanne denne evne til at modificere vejret til en funktion.

I USA vil vejrmodifikation sandsynligvis blive en del af den nationale sikkerhedspolitik med både indenlandske og internationale anvendelser. Vores regering vil føre en sådan politik, afhængigt af dens interesser på forskellige niveauer. Disse niveauer kan omfatte ensidige handlinger, deltagelse i en værdipapirforanstaltning rammer såsom NATO, medlemskab af en international organisation som FN eller deltagelse i en koalitionen. Hvis vi antager, at vores nationale sikkerhedsstrategi i 2025 inkluderer vejrmodifikation, skal dens anvendelse i vores national militærstrategi vil naturligvis følge. Udover de betydelige fordele ved en operationel kapacitet ville give, er en anden motivation til at forfølge vejrmodifikation at afskrække og modvirke potentiel modstandere.

Machine Translated by Google

I denne artikel viser vi, at passende anvendelse af vejrmodifikation kan skabe plads til kamphandlinger dominans i en grad, der aldrig før var forestillet sig. I fremtiden vil sådanne operationer forbedre luft- og rumfart overlegenhed og give nye muligheder for udformning af slagområder og bevidsthed om slagområder.1 "Teknologien er der og venter på, at vi samler det hele;"2 i 2025 kan vi "eje vejret".

Noter

[1] De vejrmodificerende kapaciteter, der er beskrevet i denne artikel, er i overensstemmelse med de operationelle miljøer og missioner, der er relevante for luftfartsstyrker i 2025, som defineret af AF/LR, et langsigtet planlægningskontor, der rapporterer til CSAF [baseret på AF/LR PowerPoint-briefingen "Air and Space Power Framework for Strategy Development (jda-2lr.ppt)]."

[2] General Gordon R. Sullivan, "Ind i det 21. århundrede: Amerikas hær og modernisering," *Military Review* (juli 1993) citeret i Mary Ann Seagraves og Richard Szymber, "Weather a Force Multiplier," *Military Review,* november/december 1995, s. 75.

Machine Translated by Google

Kapitel 1

Indledning

Scenarie: Forestil dig, at USA i 2025 kæmper mod et rigt, men nu konsolideret, politisk magtfuldt land narkokartel i Sydamerika. Kartellet har købt hundredvis af russisk- og kinesiskbyggede jagerfly, der har med succes forpurret vores forsøg på at angribe deres produktionsfaciliteter. Med deres lokale numeriske overlegenhed og indvendige linjer, lancerer kartellet mere end 10 fly til hvert af vores. Derudover, Kartellet bruger det franske *system probatoire d'observation de la terre* (SPOT) til positionering og sporing billedsystemer, som i 2025 er i stand til at transmittere næsten realtids, multispektrale billeder med 1 meteropløsning. USA ønsker at engagere fjenden på ulige vilkår for at udnytte den fulde potentialet i vores fly og ammunition.

Meteorologisk analyse viser, at Sydamerika i ækvator typisk har tordenvejr eftermiddagen dagligt hele året rundt. Vores efterretningstjenester har bekræftet, at kartelpiloter er tilbageholdende med at flyve ind eller nær tordenvejr. Derfor er vores vejrstyrkestøtteelement (WFSE), som er en del af øverstkommanderendes (CINC) luftoperationscenter (AOC) har til opgave at forudsige stormbaner og udløse eller intensivere tordenvejrsceller over kritiske målområder, som fjenden skal forsvare med deres fly. vores fly i 2025 har al slags vejr, tordenvejrstruslen er minimal for vores styrker, og vi kan effektivt og afgørende kontrollere himlen over målet.

WFSE har de nødvendige sensor- og kommunikationsfunktioner til at observere, detektere og handle på krav til vejrmodifikation for at understøtte amerikanske militære mål. Disse kapaciteter er en del af en avanceret kampområdesystem, der understøtter den krigførende CINC. I vores scenarie giver CINC WFSE opgaven at udføre stormintensiverings- og skjulingsoperationer. WFSE modellerer de atmosfæriske forhold

Machine Translated by Google

at forudsige sandsynligheden for en vellykket modifikation ved hjælp af luftbåren sky med 90 procents sikkerhed generation og såning.

I 2025 bruges ubeboede luftfartøjer (UAV'er) rutinemæssigt til vejrmodificerende operationer. Ved at krydsreferere ønskede angrebstider med vind- og tordenvejrsprognoser og SPOT-satellittens projekteret bane, genererer WFSE missionsprofiler for hver drone. WFSE guider hver drone ved hjælp af information i næsten realtid fra et netværksforbundet sensorsystem.

Før angrebet, som er koordineret med forventede vejrforhold, begynder dronerne at skyde generering og såningsoperationer. Droner spreder et cirrusskjold for at forhindre fjendens visuelle og infrarøde (IR) signaler. overvågning. Samtidig skaber mikrobølgeovne lokaliseret scintillation, der forstyrrer aktiv registrering via syntetisk aperturradar (SAR) systemer såsom den kommercielt tilgængelige canadiske eftersøgnings- og redningstjeneste satellitbaseret sporing (SARSAT), der vil være bredt tilgængelig i 2025. Andre skysåningsoperationer forårsage, at et udviklende tordenvejr intensiveres over målet, hvilket alvorligt begrænser fjendens evne til at forsvare. WFSE overvåger hele operationen i realtid og noterer den vellykkede afslutning af en anden en meget vigtig, men rutinemæssig vejrmodificerende mission.

Dette scenarie kan virke usandsynligt, men i 2025 er det inden for mulighedens rækkevidde. Det næste kapitel udforsker årsagerne til vejrmodifikationer, definerer omfanget og undersøger tendenser, der vil gøre det muligt i de næste 30 år.

Machine Translated by Google

Kapitel 2

Nødvendig kapacitet

Hvorfor skulle vi have lyst til at rode med vejret?

Ifølge general Gordon Sullivan, tidligere hærchef, "I takt med at vi bringer teknologien ind i det 21. århundrede, vil vi være i stand til at se fjenden dag eller nat, i al slags vejr – og ubarmhjertigt forfølge ham."1 A Global, præcis, robust og systematisk vejrmodifikationskapacitet i realtid ville give krigsførelse CINC'er med en stærk styrkemultiplikator for at opnå militære mål. Da vejret vil være fælles for alle mulige fremtider, ville en vejrmodificerende kapacitet være universelt anvendelig og have nytteværdi på tværs af hele konfliktspektret. Evnen til at påvirke vejret, selv i lille skala, kan ændre sig den fra en kraftnedbryder til en kraftmultiplikator.

Folk har altid ønsket at kunne gøre noget ved vejret. I USA, så tidligt som i 1839, Avisarkiver fortæller om folk med seriøse og kreative ideer til, hvordan man laver regn.2 I 1957 Præsidentens rådgivende udvalg for vejrkontrol anerkendte eksplicit det militære potentiale ved vejr-modifikationen, og advarede i deres rapport om, at den kunne blive et vigtigere våben end atombomben.3

Imidlertid har der siden 1947 været kontroverser om de mulige juridiske konsekvenser af bevidst ændring af store stormsystemer betød, at der kun kunne udføres få fremtidige eksperimenter på storme, der havde potentiale til at nå land.4 I 1977 vedtog FN's Generalforsamling en resolution forbud mod fjendtlig brug af miljøændringsteknikker. Den resulterende "Konvention om Forbud mod militær eller anden fjendtlig brug af miljømodifikationsteknikker (ENMOD)

Machine Translated by Google

forpligtede underskriverne til at afstå fra enhver militær eller anden fjendtlig brug af vejrmodifikation, som kan resultere i udbredte, langvarige eller alvorlige virkninger.5 Selvom disse to begivenheder ikke har stoppet udøvelsen af forskning i vejrmodifikation, har de betydeligt hæmmet dens tempo og udvikling af tilknyttede teknologier, samtidig med at der primært fokuseres på undertrykkende versus intensiverende aktiviteter.

Vejrets indflydelse på militære operationer har længe været anerkendt. Under Anden Verdenskrig, Eisenhower sagde,

> I Europa er dårligt vejr luftoperationernes værste fjende. En soldat sagde engang: "Vejret er altid neutralt." Intet kunne være mere usandt. Dårligt vejr er tydeligvis fjenden for den side, der søger at iværksætte projekter, der kræver godt vejr, eller for den side, der besidder store aktiver, såsom stærke luftstyrker, der er afhængige af godt vejr for effektive operationer. Hvis virkelig dårligt vejr skulle vare ved permanent, vil
> Nazisterne ville ikke behøve andet for at forsvare Normandiets kyst!

Vejrets indflydelse har også været vigtig i nyere militære operationer. Et betydeligt antal af luftaktionerne ind i Tuzla under den indledende indsættelse til støtte for den bosniske fredsoperation, der blev afbrudt pga. til vejret. Under Operation Desert Storm bad general Buster C. Glosson sin vejrofficer om at fortælle ham hvilke mål ville være klare inden for 48 timer til optagelse i luftopgaveordren (ATO).7 Men nuværende Prognoser er kun 85 procent nøjagtige i højst 24 timer, hvilket ikke i tilstrækkelig grad opfylder behovene i ATO's planlægningscyklus. Over 50 procent af F-117-togterne blev afbrudt over deres mål. og A-10'ere fløj kun 75 ud af 200 planlagte luftstøttemissioner (CAS) på grund af lavt skydække under de første to dage af kampagnen.8 Anvendelsen af vejrmodificerende teknologi til at rydde et hul over målene længe nok til, at F-117'ere kunne angribe og placere bomber på målet eller fjerne tågen fra landingsbanen ved Tuzla ville have været en meget effektiv kraftmultiplikator. Vejrmodifikation har tydeligvis potentiale for militær brug på operationelt niveau for at reducere elementerne af tåge og friktion i forbindelse med venlige operationer og til øge dem betydeligt for fjenden.

Hvad mener vi med "vejrmodifikation"?

I dag er vejrmodifikation ændringen af vejrfænomener over et begrænset område i en begrænset periode. periode.9 Inden for de næste tre årtier kan konceptet med vejrmodifikation udvides til at omfatte evnen til at forme vejrmønstre ved at påvirke deres bestemmende faktorer.10 At opnå en sådan høj

Machine Translated by Google

nøjagtig og rimelig præcis vejrmodifikationskapacitet i de næste 30 år vil kræve
at overvinde nogle udfordrende, men ikke uoverstigelige teknologiske og juridiske hindringer.

Teknologisk set skal vi have en solid forståelse af de variabler, der påvirker vejret. Vi skal være
i stand til at modellere dynamikken i deres relationer, kortlægge de mulige resultater af deres interaktioner, måle deres
faktiske realtidsværdier og påvirke deres værdier for at opnå et ønsket resultat. Samfundet bliver nødt til at
give ressourcerne og det juridiske grundlag for en moden evne til at udvikle sig. Hvordan kunne alt dette ske?
Følgende teoretiske scenarie postulerer, hvordan vejrmodifikation kan blive både teknisk mulig og
socialt ønskeligt inden 2025.

Mellem nu og 2005, teknologiske fremskridt inden for meteorologi og kravet om mere præcise
Vejrinformation fra globale virksomheder vil føre til vellykket identifikation og parametrisering af
de vigtigste variabler, der påvirker vejret. I 2015 vil fremskridt inden for beregningskapacitet, modelleringsteknikker,
og atmosfærisk informationssporing vil producere en yderst præcis og pålidelig vejrudsigt
kapacitet, valideret mod virkelige vejrforhold. I det følgende årti lagde befolkningstætheden pres på
på den globale tilgængelighed og pris på fødevarer og brugbart vand. Massive tab af menneskeliv og ejendom
forbundet med naturkatastrofer bliver stadig mere uacceptable. Disse pres fører til
regeringer og/eller andre organisationer, der er i stand til at udnytte de teknologiske fremskridt i
de foregående 20 år for at forfølge en yderst nøjagtig og rimeligt præcis vejrmodifikationskapacitet.
den stigende hast med at realisere fordelene ved denne kapacitet stimulerer love og traktater, og nogle ensidige
handlinger, hvilket gør de risici, der kræves for at validere og forfine den, acceptable. I 2025 vil verden, eller dele af den, være
i stand til at forme lokale vejrmønstre ved at påvirke de faktorer, der påvirker klima, nedbør, storme og
deres effekter, tåge og det nære rum. Disse yderst nøjagtige og rimeligt præcise civile anvendelser af
Vejrmodificerende teknologi har åbenlyse militære implikationer. Dette gælder især for luftfart
kræfter, for selvom vejret kan påvirke alle driftsmidler, virker det i vores.

Udtrykket vejrmodifikation kan have negative konnotationer for mange mennesker, både civile og militære.
medlemmer. Det er derfor vigtigt at definere det omfang, der skal overvejes i denne artikel, så potentielle kritikere
eller fortalere for yderligere forskning har et fælles grundlag for diskussion.

I bredeste forstand kan vejrpåvirkning opdeles i to hovedkategorier: undertrykkelse og
intensivering af vejrmønstre. I ekstreme tilfælde kan det involvere skabelsen af helt nye vejrforhold

Machine Translated by Google

mønstre, dæmpning eller kontrol af voldsomme storme eller endda ændring af det globale klima på et vidtrækkende og/eller langvarig skala. I de mildeste og mindst kontroversielle tilfælde kan det bestå i at fremkalde eller undertrykke nedbør, skyer eller tåge i korte perioder over et mindre område. Andre lavintensitetsapplikationer kan muligvis omfatter ændring og/eller brug af nærrum som medie til at forbedre kommunikation, forstyrre aktive eller passiv registrering eller andre formål. Ved udførelsen af forskningen i denne undersøgelse blev der anvendt den bredest mulige fortolkning af vejrmodifikation blev oprindeligt omfavnet, således at det bredeste udvalg af muligheder tilgængelige for vores militær i 2025 blev omhyggeligt overvejet. Af flere årsager beskrevet Nedenfor fokuserer denne artikel primært på lokaliserede og kortsigtede former for vejrpåvirkning og hvordan disse kunne indarbejdes i krigsførelseskapaciteten. De primære områder, der diskuteres, omfatter produktion og spredning af nedbør, skyer og tåge; ændring af lokale stormsystemer; og brugen af ionosfæren og det nære rum for rumkontrol og kommunikationsdominans. Disse anvendelser er i overensstemmelse med CJCSI 3810.01, *"Meteorologiske og oceanografiske operationer."11*

Ekstreme og kontroversielle eksempler på vejrmodifikation – skabelse af skræddersyet vejr, storstilet klimaændring, skabelse og/eller kontrol (eller "styring") af voldsomme storme osv. – var undersøgt som en del af denne undersøgelse, men får kun kort omtale her, fordi det efter forfatternes vurdering er Tekniske hindringer, der forhindrer deres anvendelse, synes uoverstigelige inden for 30 år.12 Hvis dette ikke var i tilfælde af dette ville sådanne anvendelser have været inkluderet i denne rapport som potentielle militære muligheder, på trods af deres kontroversiel og potentielt ondsindet karakter og deres uoverensstemmelse med gældende FN-aftaler om som USA har underskrevet.

På den anden side spænder de vejrmodificerende anvendelser, der foreslås i denne rapport, fra teknisk vist sig potentielt mulige. De ligner dog hinanden, idet ingen af dem i øjeblikket anvendes eller er planlagt til beskæftigelse i vores operationelle styrker. De har også lignende potentielle værdi for krigskæmperne. fremtiden, som vi håber at kunne formidle i de følgende kapitler. Et teoretisk integreret system, der inkorporerer Vejrmodificerende værktøjer vil blive beskrevet i næste kapitel; hvordan disse værktøjer kan anvendes, vil derefter blive beskrevet diskuteret inden for rammerne af operationskonceptet i kapitel 4.

Machine Translated by Google

[1] General Gordon R. Sullivan, “Ind i det 21. århundrede: Amerikas hær og modernisering,” *Military Review* (juli 1993) citeret i Mary Ann Seagraves og Richard Szymber, “Weather a Force Multiplier,” *Military Review,* november/december 1995, s. 75.

[2] Horace R. Byers, “Vejrmodifikationens historie,” i Wilmot N. Hess, red. *Vejr- og klimamodifikation,* (New York: John Wiley & Sons, 1974), s. 4.

[3] William B. Meyer, “Det amerikanske vejrs liv og tider: Hvad kan vi gøre ved det?” *Amerikansk Heritage* 37, nr. 4 (juni/juli 1986), 48.

[4] Byers, 13.

[5] Det amerikanske udenrigsministerium, *The Department of State Bulletin.* 74, nr. 1981 (13. juni 1977): 10. 6

Dwight D. Eisenhower. “Korstog i Europa,” citeret i John F. Fuller, Thor's Legions (Boston: _____ Amerikansk Meterologiselskab, 1990), 67.

[7] Interview med oberstløjtnant Gerald F. Riley, stabsvejrofficer for CENTCOM OIC for CENTAF Weather Support Force og chef for 3. vejreskadrille, i “Desert Shield/Desert Storm Interview Series” af Dr. William E. Narwyn, AWS-historiker, 29. maj 1991.

[8] Thomas A. Keaney og Eliot A. Cohen. *Sammenfattende rapport om Golfkrigens luftmagtundersøgelse* (Washington) DC: Statens Trykkeri, 1993), 172.

[9] Herbert S. Appleman, *En introduktion til vejrmodifikation* (Scott AFB, Ill.: Air Weather Service/MAC, september 1969), 1.

[10] William Bown, “Matematikere lærer at tæmme kaos,” *New Scientist,* 30. maj 1992, s. 16.

[11] CJCSI 3810.01, *Meteorologiske og oceanografiske operationer,* 10. januar 95. Denne CJCS-instruktion fastlægger politik og tildeler ansvar for udførelse af meteorologiske og oceanografiske operationer. Den definerer også begreberne "udbredt", "langvarig" og "alvorlig" for at identificere de aktiviteter, som amerikanske styrker har forbud mod at udføre i henhold til FN's konvention om miljøændringer. "Udbredt" defineres som at omfatte et område på flere hundrede km²; "langvarig" betyder at vare i en periode på flere måneder eller cirka en sæson; og "alvorlig" involverer alvorlig eller betydelig forstyrrelse eller skade på menneskeliv, naturressourcer og økonomiske ressourcer eller andre aktiver.

[12] Bekymringen over de utilsigtede konsekvenser af at forsøge at "kontrollere" vejret er velbegrundet. Vejret er et klassisk eksempel på et kaotisk system (dvs. et system, der aldrig gentager sig selv præcist). Et kaotisk system er også ekstremt følsomt: små forskelle i forhold påvirker i høj grad resultaterne. Ifølge Dr. Glenn James, en bredt publiceret kaosekspert, kan tekniske fremskridt give et middel til at forudsige, *hvornår* vejrovergange vil forekomme, og størrelsen af de input, der kræves for at forårsage disse overgange; det vil dog aldrig være muligt præcist at forudsige ændringer, der opstår som følge af vores input. Vejrets kaotiske natur begrænser også vores evne til at lave nøjagtige langsigtede prognoser. Den berømte fysiker Edward Teller præsenterede for nylig beregninger, han udførte for at bestemme den langsigtede forbedring af vejrudsigter, der ville resultere fra en satellitkonstellation, der leverer kontinuerlige atmosfæriske målinger over et 1 km2 net på verdensplan. Et sådant system, som i øjeblikket er omkostningsneutralt, ville kun forbedre langsigtede prognoser fra de nuværende fem dage til cirka 14 dage. Der er tydeligvis klare fysiske grænser for menneskehedens evne til at kontrollere naturen, men omfanget af disse fysiske grænser er stadig et åbent spørgsmål.

Kilder: GE James, “Chaos Theory: The Essentials for Military Applications,” i *ACSC Theater Air Campaign Studies Coursebook,* AY96, 8 (Maxwell AFB, Ala: Air University Press, 1995), 1-64. Teller-beregningerne er citeret i reference 49 i denne kilde.

Machine Translated by Google

Kapitel 3

Systembeskrivelse

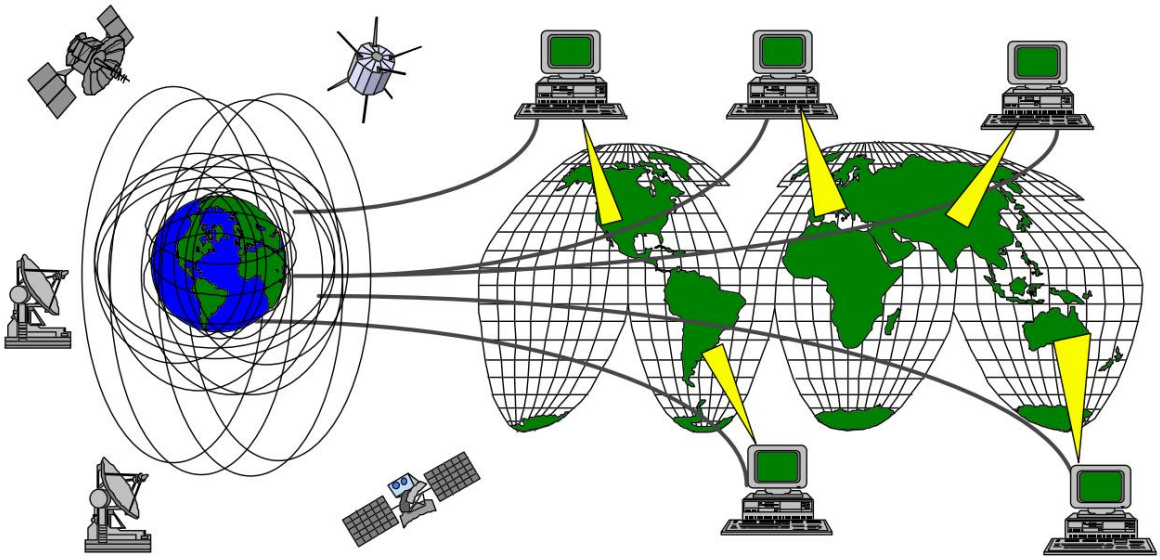
Vores vision er, at militæret i 2025 kan påvirke vejret på mesoskala (<200 km2) eller mikroskala (umiddelbart lokalt område) for at opnå operationelle kapaciteter som dem, der er anført i tabel 1. Den kapacitet ville være det synergistiske resultat af et system bestående af (1) højt trænet vejrstyrke specialister (WFS), der er medlemmer af CINC's vejrstyrkestøtteelement (WFSE); (2) adgangsporte til det globale vejrnetværk (GWN), hvor verdensomspændende vejrobservationer og -prognoser indsamles næsten realtid fra civile og militære kilder; (3) en tæt, meget præcis lokal vejrmåling og kommunikationssystem; (4) en avanceret computerbaseret modellering og forudsigelse af vejrmodifikation i lokalområdet kapacitet inden for ansvarsområdet (AOR); (5) dokumenteret vejrmodificerende intervention teknologier; og (6) en feedbackfunktion.

Det globale vejrnetværk

GWN forventes at være en evolutionær udvidelse af det nuværende militære og civile globale system. vejrdatanetværk. I 2025 vil det være et superhurtigt kommunikationsnetværk med udvidet båndbredde fyldt med næsten realtids vejrobservationer taget fra et tættere og mere præcist verdensomspændende observationsnetværk som følge af stærkt forbedrede jord-, luft-, maritime og rumsensorer. Netværket vil også give adgang til prognosecentre over hele verden, hvor sofistikerede, skræddersyede prognoser og data produkter, genereret fra vejrudsigtsmodeller (globale, regionale, lokale, specialiserede osv.) baseret på De nyeste ikke-lineære matematiske teknikker stilles til rådighed for GWN-kunder til brug i næsten realtid.

Machine Translated by Google

I 2025 forestiller vi os, at vejrudsigtsmodeller generelt og vejrmodifikation på mesoskala
Modeller vil især være i stand til at efterligne variabler, der producerer al slags vejr, sammen med deres indbyrdes forbundne dynamik, og viser sig at være yderst nøjagtige i strenge måleforsøg mod empiriske data. Hjernerne af disse modeller vil være avancerede software- og hardwarefunktioner, som hurtigt kan indtage billioner af miljødatapunkter, flette dem sammen til brugbare databaser, bearbejde dataene gennem vejrudsigter modeller og formidle vejrinformationen over GWN i næsten realtid.1 Dette netværk er afbildet skematisk vist i figur 3-1.



Kilde: Microsoft Clipart Gallery ÿ 1995 med tilladelse fra Microsoft.

Figur 3-1. Globalt vejrnetværk

Bevis for den udviklende fremtidige vejrmodellering og forudsigelseskapacitet samt det globale vejrwærk kan set i den nationale oceaniske og atmosfæriske administrations (NOAA) strategiske plan for 1995-2005. Den omfatter programelementer til at "fremme kortsigtede varslings- og prognosetjenester, implementere sæsonbestemte til mellemårige klimaprognoser og forudsigelser og vurdering af ændringer fra årti til hundrede år;"2 det inkluderer dog ikke planer til modellering af vejrmodifikation eller udvikling af modifikationsteknologi. NOAA's planer omfatter omfattende dataindsamlingsprogrammer såsom Next Generation Radar (NEXRAD) og Doppler-vejr overvågningssystemer implementeret over hele USA. Data fra disse sensorsystemer bruges i over 100 prognosecentre til behandling af Advanced Weather Interactive Processing System (AWIPS), som vil levere datakommunikation, -behandling og -visningsfunktioner til omfattende prognoser. Derudover

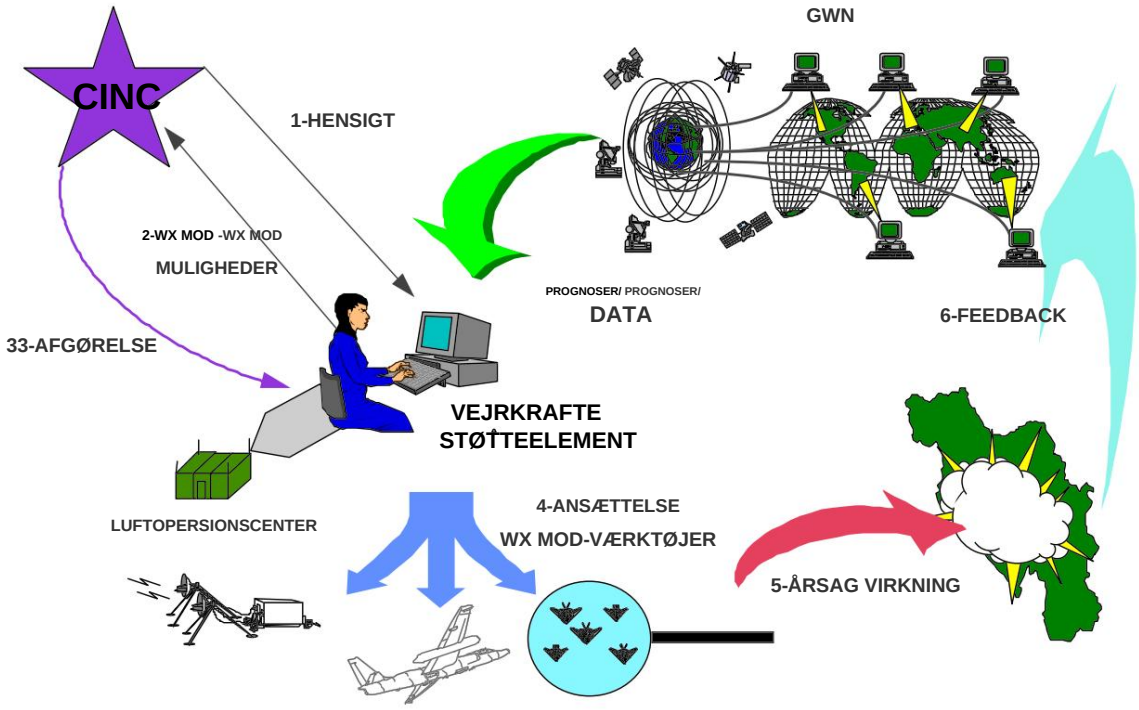
Machine Translated by Google

NOAA har leaset en Cray C90 supercomputer, der er i stand til at udføre over 1,5x1010 operationer i sekundet. er allerede blevet brugt til at køre et orkanforudsigelsessystem.3

Anvendelse af vejrmodifikation i militære operationer

Hvordan vil militæret generelt og USAF i særdeleshed styre og anvende et vejr-modifikationskapacitet? Vi forestiller os, at dette vil blive gjort af vejrstyrkestøtteelementet (WFSE), hvis primære mission ville være at støtte de krigsførende CINC'er med vejrmodifikationsmuligheder, i ud over den nuværende prognosestøtte. Selvom WFSE kunne operere hvor som helst, så længe den har adgang til GWN og de systemkomponenter, der allerede er omtalt, vil det højst sandsynligt være en komponent inden for AOC eller dens tilsvarende fra 2025. Med CINC's intention som vejledning formulerer WFSE vejr-ændringsmuligheder ved hjælp af oplysninger fra GWN, det lokale vejrdatanetværk og vejr-modifikationsprognosemodel. Mulighederne omfatter effektområde, sandsynlighed for succes, ressourcer, der skal brugt, fjendens sårbarhed og involverede risici. CINC vælger en effekt baseret på disse input, og WFSE implementerer derefter det valgte kursus, vælger de rigtige modifikationsværktøjer og anvender dem for at opnå den ønskede effekt. Sensorer registrerer ændringen og sender data om det nye vejrmønster til modelleringssystem, som opdaterer sin prognose i overensstemmelse hermed. WFSE kontrollerer effektiviteten af sine indsatser ved henter de opdaterede aktuelle forhold og nye prognoser fra GWN og lokale vejrdata netværk og planlægger opfølgende missioner efter behov. Dette koncept er illustreret i figur 3-2.

Machine Translated by Google



Kilde: Microsoft Clipart Gallery ÿ 1995 med tilladelse fra Microsoft.

Figur 3-2. Det militære system til vejrmodificerende operationer.

WFSE-personale skal være eksperter i informationssystemer og veluddannede inden for begge områder. offensiv og defensiv informationskrigsførelse. De ville også have en dybdegående forståelse af GWN og en forståelse for, hvordan vejrmodifikation kan anvendes til at imødekomme en CINC's behov.

På grund af GWN's nodale netværksnatur ville dette koncept være meget fleksibelt. For eksempel en WFSE kunne tildeles hvert teater for at yde direkte støtte til CINC. Systemet ville også være overlevelig, med flere noder forbundet til GWN'et.

Som et produkt af informationsalderen ville dette system være yderst sårbart over for informationskrig. WFSE ville have brug for de mest aktuelle defensive og offensive informationskapaciteter, der er tilgængelige. Defensiv evner ville være nødvendige for at overleve. Offensive evner kunne give muligheder for at forfalske virtuelt vejr i fjendens sensoriske og informationssystemer, hvilket gør det mere sandsynligt for dem at lave beslutninger, der producerer resultater, vi vælger i stedet for deres. Det ville også give mulighed for at maskere eller skjule vores vejrmodificerende aktiviteter.

Machine Translated by Google

To nøgleteknologier er nødvendige for at sammensmelte en integreret, omfattende, responsiv, præcis og effektivt system til modifikation af vejret. Fremskridt inden for videnskaben om kaos er afgørende for denne bestræbelse. Nøglen til gennemførligheden af et sådant system er evnen til at modellere det ekstremt komplekse ikke-lineære system af det globale vejr på måder, der præcist kan forudsige resultatet af ændringer i de påvirkende variabler. Forskere har allerede med succes kontrolleret ikke-lineære systemer med én variabel i laboratoriet og antage, at nuværende matematiske teknikker og computerkapacitet kan håndtere systemer med op til fem variabler. Fremskridt på disse to områder ville gøre det muligt at påvirke regionale vejrmønstre ved at foretage små, kontinuerlige skub til en eller flere påvirkningsfaktorer. Måske med tilstrækkelig gennemløbstid og Under de rette forhold kan du få "skræddersyet" vejr.4

Udvikling af en reel vejrmodificeringskapacitet vil kræve forskellige interventionsværktøjer for at justere passende meteorologiske parametre på forudsigelige måder. Det er dette område, der skal udvikles af militær baseret på specifikke nødvendige kapaciteter, såsom dem der er anført i tabel 1, tabel 1 er placeret i Resumé. Et sådant system ville indeholde et sensornetværk og et lokaliseret datanetværk for kampområdet. give det fine opløsningsniveau, der kræves for at detektere interventionseffekter og give feedback. Dette net ville omfatte jord-, luft-, maritime og rumsensorer samt menneskelige observationer for at sikre systemets pålidelighed og reaktionsevne, selv i tilfælde af fjendtlige modforanstaltninger. Det ville også omfatte specifikke interventionsværktøjer og -teknologier, hvoraf nogle allerede findes, og andre som skal udviklet. Nogle af disse foreslåede værktøjer er beskrevet i det følgende kapitel med titlen Konceptet Drift. Den samlede vejrmodifikationsproces ville være en realtidsløkke af kontinuerlig, passende, målte interventioner og feedback, der er i stand til at producere ønsket vejradfærd.

Noter

[1] SPACECAST 2020, *Vejrudsigt for kommunikation i rummet,* hvidbog G (Maxwell AFB, Alabama: Air War College/ 2020, 1994).

[2] Kontreadmiral Sigmund Petersen, “NOAA bevæger sig mod det 21. århundrede,” *The Military Engineer* 20, nr. 571 (juni-juli 1995): 44. 3 Ibid. 4

William Brown, “Matematikere lærer at tæmme kaos,” *New Scientist* (30. maj 1992): 16.

Machine Translated by Google

Kapitel 4

Operationskoncept

Den væsentligste ingrediens i vejrmodifikationssystemet er det sæt af interventionsteknikker, der anvendes til at ændre vejret. Antallet af specifikke interventionsmetoder er kun begrænset af fantasien, men med få undtagelser involverer de tilførsel af enten energi eller kemikalier til den meteorologiske proces i den rigtige måde, på det rigtige sted og tidspunkt. Interventionen kunne designes til at ændre vejret på en antal måder, såsom påvirkning af skyer og nedbør, stormintensitet, klima, rum eller tåge.

Nedbør

I århundreder har mennesket ønsket at kunne påvirke nedbøren på det tidspunkt og sted, han vælger. Indtil for nylig har succesen med at nå dette mål været minimal; dog kan et nyt vindue af muligheder eksisterer som følge af udviklingen af nye teknologier og en stigende global interesse i at afhjælpe vand mangler gennem nedbørsforøgelse. Derfor anbefaler vi, at Forsvarsministeriet undersøger de mange muligheder (og også konsekvenserne) som følge af udviklingen af en evne til at påvirke nedbør eller udførelse af "selektiv nedbørsmodifikation". Selvom evnen til at påvirke nedbør på lang sigt (dvs. i mere end flere dage) er stadig ikke fuldt ud forstået. I 2025 vil vi vil helt sikkert være i stand til at øge eller mindske nedbøren på kort sigt i et lokalt område.

Før forskning på dette område diskuteres, er det vigtigt at beskrive fordelene ved en sådan funktion. Mens mange militære operationer kan være påvirket af nedbør, er det mobiliteten på jorden, der er mest påvirket. Påvirkning af nedbør kan vise sig nyttig på to måder. For det første kan øget nedbør mindske

Machine Translated by Google

fjendens færdselsmuligheder ved at mudre terrænet, samtidig med at det påvirker deres moral. For det andet, undertrykkelse Nedbør kan øge den venlige trafikmulighed ved at udtørre et ellers mudret område.

Hvad er muligheden for at udvikle denne kapacitet og anvende den i taktiske operationer inden 2025? Tættere på end man skulle tro. Der er blevet forsket i nedbørsmodifikation i mange år, og et aspekt af den resulterende teknologi blev anvendt i operationer under Vietnamkrigen.1 Disse indledende forsøg giver et grundlag for videreudvikling af en reel evne til selektiv nedbør modifikation.

Interessant nok traf den amerikanske regering en bevidst beslutning om at stoppe med at bygge videre på dette fundament. Som tidligere nævnt har internationale aftaler forhindret USA i at undersøge vejrmodificerende operationer, der kan have udbredte, langvarige eller alvorlige virkninger. Dog, Der findes muligheder (inden for rammerne af etablerede traktater) for at bruge lokal nedbør ændring på kort sigt med begrænsede og potentielt positive resultater.

Disse muligheder stammer fra vores egne tidligere eksperimenter med nedbørsmodifikation. fremgår af en artikel i *Journal of Applied Meteorology,*

> Næsten alle vejrmodifikationsbestræbelser i løbet af det sidste kvart århundrede har været rettet mod at skabe ændringer på skyskalaen ved at udnytte forskellen i mættet damptryk mellem is og vand. Dette skal ikke kritiseres, men det er på tide, at vi også overvejer muligheden for vejrmodifikation på andre tidsrumsskalaer og med andre fysiske hypoteser.2

Denne undersøgelse foretaget af William M. Gray m.fl. undersøgte hypotesen om, at "betydelige gavnlige påvirkninger" kan udledes gennem fornuftig udnyttelse af solabsorptionspotentialet i kulstofstøv." 3 Undersøgelsen viste i sidste ende, at denne teknologi kunne bruges til at forbedre nedbøren på mesoskalaen, generere cirrus skyer og forstærke cumulonimbus (tordenvejr) i ellers tørre områder.

Teknologien kan beskrives som følger. Ligesom et sort tjæretag let absorberer solenergi og efterfølgende udstråler varme i løbet af en solskinsdag, absorberer carbon black også let solenergi. spredt i mikroskopisk eller "støv"-form i luften over en stor vandmasse, bliver kulstoffet varmt og opvarmer den omgivende luft, hvorved mængden af fordampning fra vandmassen nedenunder øges. Da den omgivende luft opvarmes, luftpakker vil stige op, og vanddampen i den opstigende luftpakke vil kondenserer til sidst og danner skyer. Med tiden øges skydråbernes størrelse, efterhånden som mere og mere vand dampen kondenserer, og til sidst bliver de for store og tunge til at forblive svævende og vil falde som regn eller

Machine Translated by Google

andre former for nedbør.4 Undersøgelsen påpeger, at denne teknologi til forbedring af nedbør ville fungerer bedst "mod vinden fra kystlinjer med pålandsstrøm." Sølignende sne langs den sydlige kant af De Store Søer er et naturligt forekommende fænomen baseret på lignende dynamik.

Kan denne type nedbørsforbedringsteknologi have militære anvendelser? Ja, hvis den rigtige betingelserne er til stede. For eksempel, hvis vi er så heldige at have et ret stort vandområde til rådighed Op mod vinden fra den målrettede slagmark, kunne kulstøv placeres i atmosfæren over vandet. Hvis vi antager, at dynamikken i atmosfæren er understøttende, vil den opstigende mættede luft til sidst danne skyer og regnbyger medvind over land.5 Mens sandsynligheden for at have et vandområde placeret modvind af slagmarken er uforudsigelig, kan teknologien vise sig enormt nyttig under de rette forhold. Kun yderligere eksperimenter vil afgøre, i hvilken grad nedbørsforøgelsen kan kontrolleres.

Hvis der med succes udvikles teknikker til forbedring af nedbør, og de rette naturlige forhold også eksisterer, skal vi også være i stand til at sprede kulstøv til det ønskede sted. Transportere det på en fuldstændig kontrolleret, sikker, omkostningseffektiv og pålidelig måde kræver innovation. Talrige spredningsteknikker er allerede blevet undersøgt, men den mest bekvemme, sikre og omkostningseffektive metode, der diskuteres, er brugen af efterbrændermotorer til at generere kulstofpartikler, mens de flyver gennem den målrettede luft. Denne metode er baseret på indsprøjtning af flydende kulbrintebrændstof i efterbrænderens forbrændingsgasser. Denne direkte generering Metoden viste sig at være mere ønskværdig end en anden plausibel metode (dvs. transport af store mængder af tidligere produceret og korrekt dimensioneret kulstøv til den ønskede højde).

Kulstøvundersøgelsen viste, at forbedring af nedbør i lille skala er mulig, og har været verificeret med succes under visse atmosfæriske forhold. Siden undersøgelsen blev udført, er der ikke fundet nogen kendte militære anvendelser af denne teknologi er blevet realiseret. Vi kan dog postulere, hvordan denne teknologi kan muligvis bruges i fremtiden ved at undersøge nogle af de leveringsplatforme, der potentielt er tilgængelige for effektiv spredning af kulstøv eller andre effektive modifikationsmidler i år 2025.

En metode, vi foreslår, ville yderligere maksimere teknologiens sikkerhed og pålidelighed ved praktisk talt eliminering af det menneskelige element. Til dato er der udført meget arbejde med droner, som nøje (hvis ikke fuldstændigt) matche kapaciteten hos styrede fly. Hvis denne UAV-teknologi blev kombineret med stealth og kulstofstøvteknologier, kan resultatet være et dronefly, der er usynligt for radar, mens det er på vej mod det målrettede område, som spontant kunne danne kulstøv på ethvert sted. Dog minimeres antallet af

Machine Translated by Google

De droner, der kræves for at fuldføre missionen, vil afhænge af udviklingen af en ny og mere effektiv system til at producere kulstøv ved hjælp af en opfølgende teknologi til de tidligere jetmotorer af efterbrændertypen nævnt. For effektivt at kunne bruge stealth-teknologi skal dette system også have evnen til at sprede kulstøv, samtidig med at dronens infrarøde varmekilde minimeres (eller elimineres).

Udover at bruge stealth-droner og teknologi til absorption af kulstofstøv til forbedring af nedbør, Denne leveringsmetode kan også bruges til at undertrykke nedbør. Selvom den tidligere nævnte Undersøgelsen undersøgte ikke signifikant muligheden for skydannelse til at undertrykke nedbør. muligheden eksisterer. Hvis skyer blev sået (ved hjælp af kemiske kerner svarende til dem, der bruges i dag, eller måske en mere effektivt middel opdaget gennem fortsat forskning) før deres ankomst med vinden til en ønsket placering, kan resultatet være en undertrykkelse af nedbør. Med andre ord kan nedbøren blive "tvunget" at falde før sin ankomst til det ønskede territorium, hvorved det ønskede territorium bliver "tørt". Den strategiske og De operationelle fordele ved at gøre dette er tidligere blevet diskuteret.

Tåge

Generelt kræver vellykket tågeafledning en eller anden form for opvarmnings- eller såningsproces. Hvorvidt teknikken fungerer bedst afhænger af den type tåge, der opstår. Enkelt sagt er der to grundlæggende typer af tåge – kold og varm. Kold tåge opstår ved temperaturer under 0° C. Den mest kendte dissipationsteknik For kold tåge er det at tilsætte den stoffer fra luften, der fremmer væksten af iskrystaller.6

Varm tåge opstår ved temperaturer over 0° C og tegner sig for 90 procent af de tågerelaterede problemer. stødt på ved flyoperationer.7 Den mest kendte dissipationsteknik er opvarmning, fordi en lille Temperaturstigning er normalt tilstrækkelig til at fordampe tågen. Da opvarmning normalt ikke er praktisk, er det næste Den mest effektive teknik er hygroskopisk såning.8 Hygroskopisk såning bruger stoffer, der absorberer vanddamp. Denne teknik er mest effektiv, når den udføres fra luften, men kan også udføres fra jorden.9 Optimale resultater kræver forudgående information om tågedybde, flydende vandindhold og vind.10

Årtiers forskning viser, at tågeafledning er en effektiv anvendelse af vejrmodifikation teknologi med dokumenterede besparelser af enorme proportioner for både militær og civil luftfart.11 Lokal

Machine Translated by Google

Kommuner har også vist interesse i at anvende disse teknikker til at forbedre sikkerheden ved højhastighedstog.
motorveje, der gennemkører områder med hyppigt forekommende tæt tåge.12

Der er nogle nye teknologier, som kan have vigtige anvendelser til tågespredning.
Som tidligere omtalt er opvarmning den mest effektive spredningsmetode til den mest almindeligt forekommende type tåge.
Desværre har det vist sig upraktisk i de fleste situationer og ville i bedste fald være vanskeligt af beredskabsmæssige årsager.
operationer. Udviklingen af rettet strålingsenergiteknologi, såsom mikrobølger og
lasere kan give nye muligheder.

Laboratorieforsøg har vist, at mikrobølger er effektive til at aflede varme fra tåge. Imidlertid,
Resultaterne viser også, at de nødvendige energiniveauer overstiger den amerikanske grænseværdi for stor effekttæthed på 100
dyrt.13 Feltforsøg med lasere har vist evnen til at watt/m2 og ville være meget
spreder varm tåge på en flyveplads med nul sigtbarhed. Genererer 1 watt/cm2 , hvilket er omtrent USA
høj eksponeringsgrænse for effekttæthed, øgede systemet sigtbarheden til en kvart mil på 20 sekunder.14
Lasersystemer beskrevet i rumoperationsdelen af denne AF 2025-undersøgelse kunne bestemt levere dette
kapacitet som en af deres mange mulige anvendelser.

Med hensyn til såteknikker er forbedringer i materialer og leveringsmetoder ikke kun
plausibelt, men sandsynligt. Smarte materialer baseret på nanoteknologi udvikles i øjeblikket med gigaops
computerkapacitet i deres kerne. De kunne justere deres størrelse til optimale dimensioner for en given tågeudsåning
situationen og endda foretage justeringer undervejs i processen. De kan også forbedre deres spredning
egenskaber ved at justere deres opdrift, ved at kommunikere med hinanden og ved at styre sig selv inden for
tågen. De vil være i stand til at give øjeblikkelig og kontinuerlig feedback på effektiviteten ved at integrere med en
større sensornetværk og kan også ændre deres temperatur og polaritet for at forbedre deres såningseffekter.15
Som nævnt ovenfor kan droner bruges til at levere og distribuere disse intelligente materialer.

Nylige eksperimenter i hærens forskningslaboratorium har vist, at det er muligt at generere tåge. De brugte
kommercielt udstyr til at generere tyk tåge i et 100 meter langt område. Yderligere undersøgelser har vist, at tåger er
effektiv til at blokere en stor del af UV/IR/det synlige spektrum og maskerer effektivt udsendere af sådan stråling fra
IR-våben.16 Denne teknologi ville gøre det muligt for en lille militær enhed at undgå detektion i IR-spektret. Tåge
kunne genereres for hurtigt at skjule bevægelsen af kampvogne eller infanteri, eller det kunne skjule militæret

Machine Translated by Google

operationer, faciliteter eller udstyr. Sådanne systemer kan også være nyttige til at hæmme observationer af følsomme operationer i bagområdet med elektrooptiske rekognosceringsplatforme.17

Storme

Ønskeligheden af at modificere storme for at understøtte militære mål er den mest aggressive og kontroversiel type vejrmodifikation. Skaderne forårsaget af storme er i sandhed forfærdelige. For For eksempel har en tropisk storm en energi svarende til 10.000 brintbomber på én megaton,18 og i 1992 Orkanen Andrew ødelagde Homestead AFB i Florida fuldstændigt og forårsagede evakuering af størstedelen af militæret. fly i det sydøstlige USA og resulterede i skader på 15,5 milliarder dollars.19 Men som man kunne forvente Baseret på en storms energiniveau indikerer den nuværende videnskabelige litteratur, at der er klare fysiske grænser for menneskehedens evne til at ændre stormsystemer. Ved at tage dette i betragtning sammen med politiske, miljømæssige, Ud fra økonomiske, juridiske og moralske overvejelser vil vi begrænse vores analyse af storme til lokale tordenvejr. og tager derfor ikke større stormsystemer såsom orkaner eller intense lavtrykssystemer i betragtning.

På ethvert tidspunkt er der cirka 2.000 tordenvejr. Faktisk 45.000 tordenvejr, som indeholder kraftig regn, hagl, mikroudbrud, vindskær og lynnedslag, der dannes dagligt.20 Enhver, der har fløjet ofte på kommercielle fly har sandsynligvis bemærket de ekstremer, som piloter vil gå for at undgå tordenvejr. Faren ved tordenvejr blev tydeligt vist i august 1985, da en jumbojet styrtede ned dræbte 137 mennesker efter at have været udsat for mikrobølgede vindsakse under en regnbyge.21 Disse naturkræfter påvirke alle fly, og selv de mest avancerede jagerfly fra 1996 gør alt for at undgå et tordenvejr.

Vil dårligt vejr fortsat være en fare for luftfarten i 2025? Svaret er desværre "ja", men De forventede teknologiske fremskridt i løbet af de næste 30 år vil mindske risikopotentialet. Computer-Kontrollerede flysystemer vil være i stand til at "autopilotere" fly gennem hurtigt skiftende vinde. Fly vil har også meget præcise, indbyggede sensorsystemer, der øjeblikkeligt kan "kortlægge" og automatisk guide flyet gennem den sikreste del af en stormcelle. Fly forventes at have hærdet elektronik som kan modstå virkningerne af lynnedslag og som også kan generere en omgivende elektropotentialfelt, der neutraliserer eller afviser lynnedslag.

Machine Translated by Google

Forudsat at USA opnår nogle eller alle de ovennævnte tekniske fremskridt inden for flyindustrien, og opretholder den teknologiske "vejrfordel" over sine potentielle modstandere, kan vi næste gang se på, hvordan vi kunne modificere vejret i kampområdet for bedst muligt at udnytte vores tekniske fordel.

Vejrmodificerende teknologier kan involvere teknikker, der ville øge latent varmefrigivelse i atmosfæren, give yderligere vanddamp til udvikling af skyceller og give yderligere overflade og lavere atmosfærisk opvarmning for at øge atmosfærisk ustabilitet. Afgørende for succesen af ethvert forsøg på at Det, der udløser en stormcelle, er de præeksisterende atmosfæriske forhold lokalt og regionalt. Atmosfæren skal allerede være betinget ustabil, og dynamikken i stor skala skal understøtte vertikal skydannelse udvikling. Fokus for vejrmodifikationsindsatsen ville være at skabe yderligere "betingelser", der ville gøre atmosfæren ustabil nok til at generere skydannelse og i sidste ende dannelse af stormceller. Stormcellers bane, når den er udviklet eller forstærket, afhænger ikke kun af stormens dynamik på mesoskala. men de regionale og synoptiske (globale) atmosfæriske vindstrømningsmønstre i området, som i øjeblikket er ikke underlagt menneskelig kontrol.

Som angivet er de tekniske hindringer for stormudvikling til støtte for militære operationer naturligvis større end at øge nedbøren eller sprede tågen som beskrevet tidligere. Et område med storm Forskning, der ville gavne militære operationer betydeligt, er lynmodifikation. De fleste forskningsindsatser Der udføres undersøgelser for at udvikle teknikker til at mindske forekomsten af eller farerne forbundet med lynnedslag. Dette er vigtig forskning for militære operationer og ressourcebeskyttelse, men med en vis offensiv militær fordel kunne opnås ved at lave forskning i at øge potentialet og intensiteten af lynnedslag. Koncepter til udforske omfatter at øge tordenvejrets grundlæggende effektivitet og stimulere den udløsende mekanisme, der initierer bolten og udløser lynnedslag som det, der ramte Apollo 12 i 1968.22 Mulig Mekanismer at undersøge ville være måder at modificere elektropotentialkarakteristikaene over bestemte mål for at fremkalde lynnedslag på de ønskede mål, når stormen passerer over deres placering.

Kort sagt, evnen til at ændre vejret i kamprummet gennem udløsning eller forbedring af stormceller ville give os mulighed for at udnytte de teknologiske "vejr"-fremskridt i vores 2025-fly; dette område har et enormt potentiale og bør imødekommes i fremtidige forsknings- og konceptudviklingsprogrammer.

Machine Translated by Google

Udnyttelse af "NearSpace" til rumkontrol

Dette afsnit diskuterer muligheder for kontrol og modifikation af ionosfæren og det nære rum.
miljø for styrkeforstærkning; specifikt for at forbedre vores egen kommunikation, sensorer og navigation
evner og/eller forringe vores fjendes. En kort teknisk beskrivelse af ionosfæren og dens
betydning i nuværende kommunikationssystemer er angivet i bilag A.

Inden 2025 kan det være muligt at modificere ionosfæren og det nære rum, hvilket skaber en række potentielle
anvendelser, som diskuteret nedenfor. Før ionosfærisk modifikation bliver mulig, skal der dog foretages en række
Der er behov for evolutionære fremskridt inden for vejrudsigter og observation i rummet. Mange af disse behov var
beskrevet i en Spacecast 2020-undersøgelse, Space Weather Support for Communications.23 Nogle af de
Forslag fra denne undersøgelse er inkluderet i bilag B; det er vigtigt at bemærke, at vores evne til at udnytte nær
Rum via aktiv modifikation er afhængig af at opnå pålidelig observation og forudsigelse
evner.

Muligheder som følge af modifikation af rumvejr

Ændring af det nære rummiljø er afgørende for dominans i kamprummet. General Charles
Horner, tidligere øverstkommanderende for USA's rumkommando, beskrev sit værste mareridt som "at se
en hel marinebataljon udslettet i en fremmed landgangszone, fordi han ikke var i stand til at afvise fjenden
intelligens og billeder genereret fra rummet."24 Aktiv modifikation kunne give en "teknologisk løsning"
at blokere fjendens aktive og passive overvågnings- og rekognosceringssystemer. Kort sagt, *en operationel*
Evnen til at modificere det nære rummiljø ville sikre rumoverlegenhed i 2025; denne evne
ville give os mulighed for at forme og kontrollere kampområdet via forbedret kommunikation, sensorer, navigation,
og præcisionsindgrebssystemer.

Selvom vi erkender, at teknologiske fremskridt kan ophæve betydningen af visse elektromagnetiske
frekvenser for amerikanske rumfartsstyrker i 2025 (såsom radiofrekvens (RF), højfrekvens (HF) og meget
højfrekvensbånd (VHF), er de nedenfor beskrevne funktioner ikke desto mindre relevante. Vores ikke-peer-baserede

Machine Translated by Google

modstandere vil højst sandsynligt stadig være afhængige af sådanne frekvenser til kommunikation, sensorer og navigation og ville således være ekstremt sårbar over for forstyrrelser via ændringer i rumvejret.

Kommunikationsdominans via ionosfærisk modifikation

Modifikation af ionosfæren for at forbedre eller forstyrre kommunikationen er for nylig blevet genstand for aktiv forskning. Ifølge Lewis M. Duncan og Robert L. Showen, det tidligere Sovjetunionen (FSU) udført teoretisk og eksperimentel forskning på dette område på et niveau, der er betydeligt højere end sammenlignelige programmer i Vesten.25 Der er en stærk motivation for denne forskning, fordi

> Inducerede ionosfæriske modifikationer kan påvirke eller endda forstyrre driften af radiosystemer, der er afhængige af udbredelse gennem det modificerede område. Den kontrollerede generering eller accelererede dissipation af ionosfæriske forstyrrelser kan bruges til at producere nye udbredelsesveje, som ellers ikke er tilgængelige, og som er passende for udvalgte RF-missioner.26

En række metoder er blevet udforsket eller foreslået til at modificere ionosfæren, herunder injektion af kemiske dampe og opvarmning eller opladning via elektromagnetisk stråling eller partikelstråler (såsom ioner, neutrale partikler, røntgenstråler, MeV-partikler og energiske elektroner).27 Det er vigtigt at bemærke, at mange Teknikker til at modificere den øvre atmosfære er blevet demonstreret eksperimentelt med succes. baserede modifikationsteknikker, der anvendes af FSU, omfatter vertikal HF-opvarmning, skrå HF-opvarmning, mikrobølgeopvarmning og magnetosfærisk modifikation.28 Væsentlige militære anvendelser af sådanne operationer omfatter produktion af lavfrekvent (LF) kommunikation, HF-kanaliseret kommunikation og oprettelse af en kunstig ionosfære (behandles detaljeret nedenfor). Desuden anerkender udviklingslande også fordelen ved af ionosfærisk modifikation: "i begyndelsen af 1980'erne udførte Brasilien et eksperiment for at modificere ionosfæren ved kemisk injektion."29

Adskillige højtydende egenskaber, der kan skyldes ændringen af ionosfæren eller det nære rum er kort beskrevet nedenfor. Det skal understreges, at denne liste ikke er udtømmende; ændring af Ionosfæren er et område rigt på potentielle anvendelser, og der er sandsynligvis også spin-off-anvendelser, der har endnu ikke at forestille sig.

Ionosfæriske spejle til præcis kommunikation eller radartransmission over horisonten (OTH). Ionosfærens egenskaber og begrænsninger som reflekterende medium for højfrekvent stråling er

Machine Translated by Google

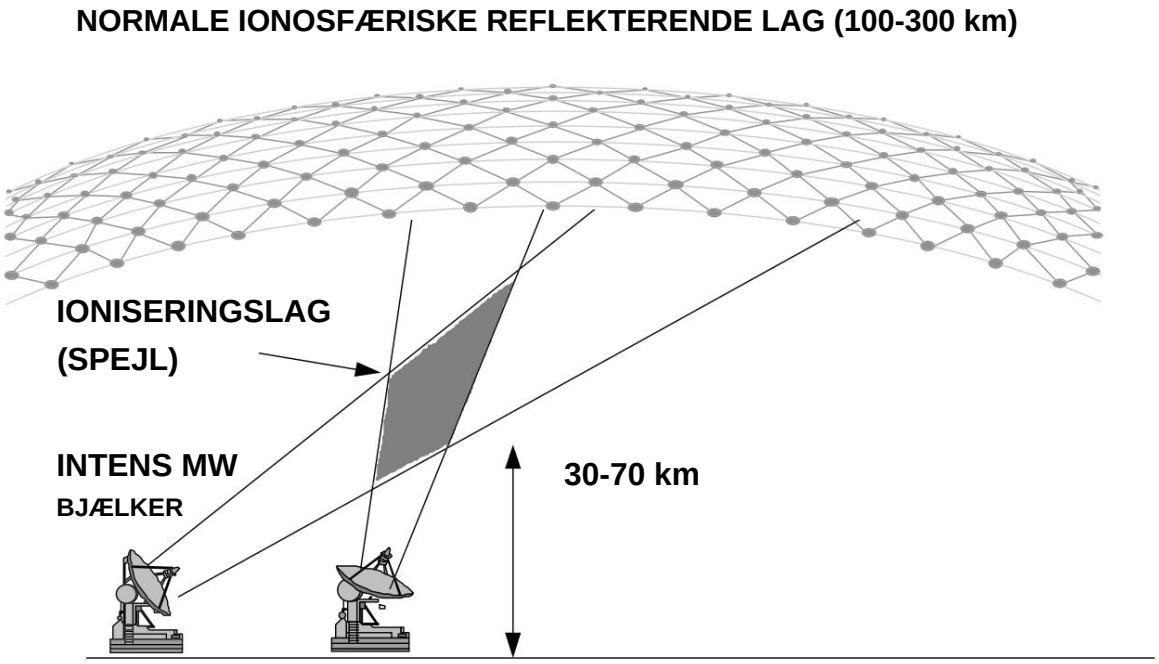
beskrevet i bilag A. Den største ulempe ved at være afhængig af ionosfæren til at reflektere radiobølger er dens variabilitet, som skyldes normalt rumvejr og begivenheder som soludbrud og geomagnetiske storme. Ionosfæren er blevet beskrevet som et krøllet ark vokspapir, hvis relative position stiger og synker afhængigt af vejrforholdene. Overfladetopografien på det krøllede papir ændrer sig også konstant, hvilket fører til variation i dens reflekterende, brydende og transmissive egenskaber.

Oprettelsen af en kunstig, ensartet ionosfære blev først foreslået af den sovjetiske forsker AV Gurevich i midten af 1970'erne. Et kunstigt ionosfærisk spejl (AIM) ville tjene som et præcist spejl til elektromagnetisk stråling af en valgt frekvens eller et frekvensområde. Det ville dermed være nyttigt for både præcise kontrol over venlig kommunikation og aflytning af fjendtlige transmissioner.

Dette koncept er blevet beskrevet i detaljer af Paul A. Kossey m.fl. i en artikel med titlen “Artificial Ionosfæriske spejle (AIM).”30 Forfatterne beskriver, hvordan man præcist kan kontrollere placering og højde af området med kunstigt produceret ionisering ved hjælp af krydsede mikrobølgestråler (MW), som producerer atmosfærisk nedbrydning (ionisering) af neutrale stoffer. Konsekvenserne af en sådan kontrol er enorme: en ville ikke længere være underlagt den naturlige ionosfæres luner, men ville i stedet have direkte kontrol over udbredelsesmiljøet. Ideelt set kunne AIM'en hurtigt oprettes og derefter kun vedligeholdes i en kort driftsperiode. En skematisk illustration af krydsstrålemetoden til generering af et AIM er vist i figur 4-1.31

En AIM kunne teoretisk set reflektere radiobølger med frekvenser op til 2 GHz, hvilket er næsten to størrelsesordener højere end de bølger, der reflekteres af den naturlige ionosfære. MW-radiatorens effekt Kravene til et sådant system er omtrent en størrelsesorden større end de nyeste systemer fra 1992; Imidlertid forventes en sådan energikapacitet at være let opnåelig i 2025.

Machine Translated by Google

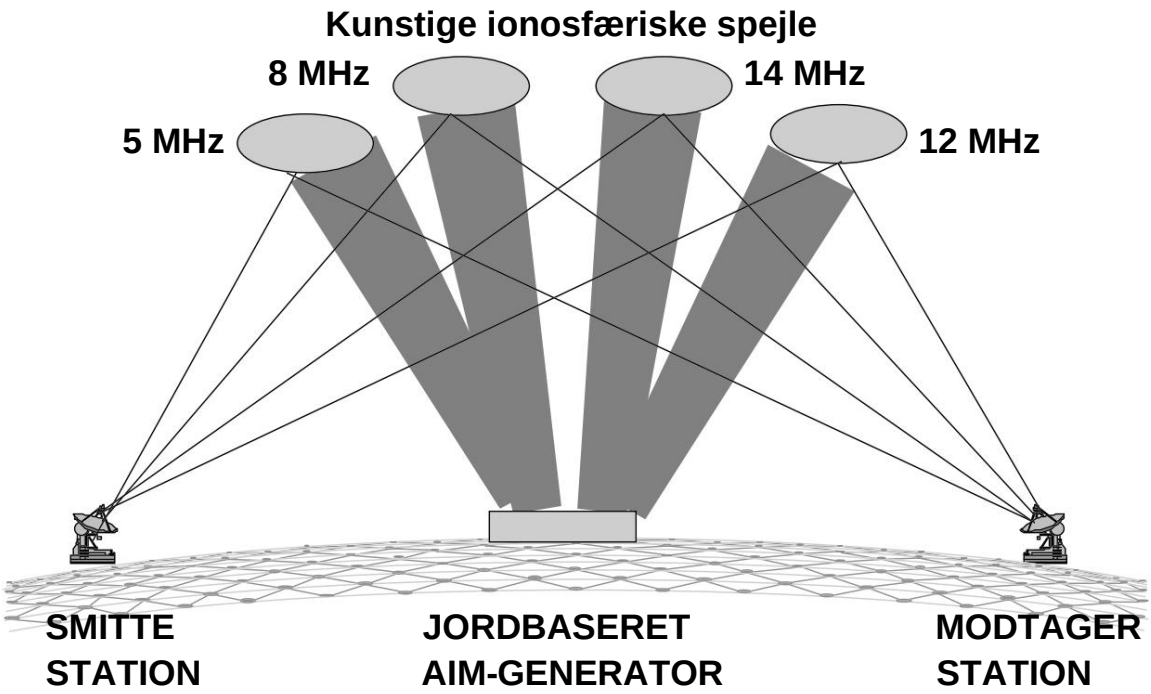


Kilde: Microsoft Clipart Gallery ÿ 1995 med tilladelse fra Microsoft.

Figur 4-1. Krydsstrålemetode til generering af et kunstigt ionosfærisk spejl

Udover at give præcis kommunikationskontrol og potentiel aflytningskapacitet, tilbyder denne teknologi ville også give kommunikationskapacitet på specificerede frekvenser, efter behov. Figur 4-2 viser, hvordan en En jordbaseret radiator kan generere en række AIM'er, som hver især ville være skræddersyet til at afspejle en udvalgt transmissionsfrekvens. En sådan ordning ville i høj grad udvide den tilgængelige båndbredde for kommunikation og eliminerer også problemet med interferens og krydstale (ved at tillade en at bruge det nødvendige effektniveau).

Machine Translated by Google



Kilde: Microsoft Clipart Gallery ÿ 1995 med tilladelse fra Microsoft.

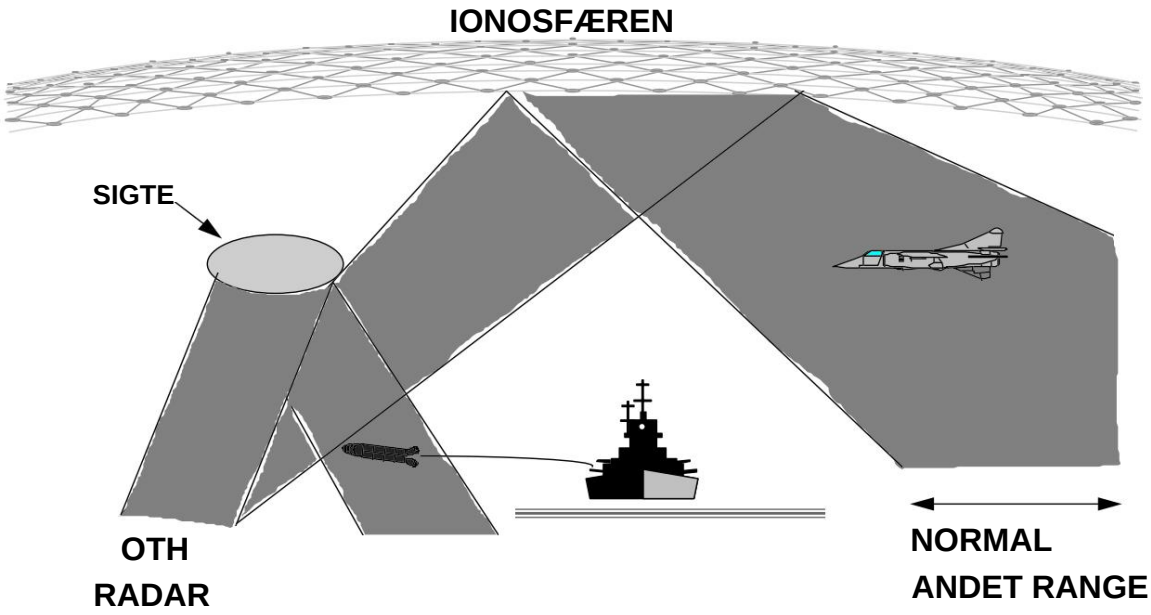
Figur 4-2. Kunstige ionosfæriske spejle Punkt-til-punkt-kommunikation

Kossey et al. beskriver også, hvordan AIM'er kan bruges til at forbedre OTH-radarens kapacitet:

> AIM-baseret radar kunne opereres ved en frekvens valgt for at optimere måldetektion, snarere end at være begrænset af de fremherskende ionosfæriske forhold. Dette, kombineret med muligheden for at kontrollere radarens bølgepolarisering for at afbøde cluttereffekter, kunne resultere i pålidelig detektion af krydsermissiler og andre lavt observerbare mål.32

En skematisk fremstilling af dette koncept er vist i figur 4-3. Potentielle fordele i forhold til konventionel OTH radarer omfatter frekvenskontrol, afbødning af nordlyseffekter, kortdistanceoperation og detektion af en mål med mindre tværsnit.

Machine Translated by Google



Kilde: Microsoft Clipart Gallery ÿ 1995 med tilladelse fra Microsoft.

Figur 4-3. Koncept for overvågning af kunstigt ionosfærisk spejl over horisonten.

Forstyrrelse af kommunikation og radar via ionosfærisk kontrol. En variation af kapaciteten

Den ovenfor foreslåede modifikation er ionosfærisk modifikation for at forstyrre en fjendtlig kommunikation eller radartransmissioner.

Fordi HF-kommunikation styres direkte af ionosfærens egenskaber, en kunstigt skabt

ioniseringsområdet kunne tænkes at forstyrre en fjendens elektromagnetiske transmissioner. Selv i fravær

af et kunstigt ioniseringsfelt producerer højfrekvent modifikation storskala ionosfæriske variationer

som ændrer HF-udbredelsesegenskaber. Udbyttet af forskning, der sigter mod at forstå, hvordan man kontrollerer

Disse variationer kan være store, da både forbedring og forringelse af HF-kommunikation er mulige.

Offensiv interferens af denne art ville sandsynligvis ikke kunne skelnes fra naturligt forekommende rumvejr.

Denne funktion kunne også anvendes til præcist at lokalisere kilden til fjendtlig elektromagnetisk stråling.

transmissioner.

VHF-, UHF- og superhøjfrekvent (SHF) satellitkommunikation kan blive forstyrret ved at skabe

kunstig ionosfærisk scintillation. Dette fænomen forårsager udsving i radiofrekvensens fase og amplitude

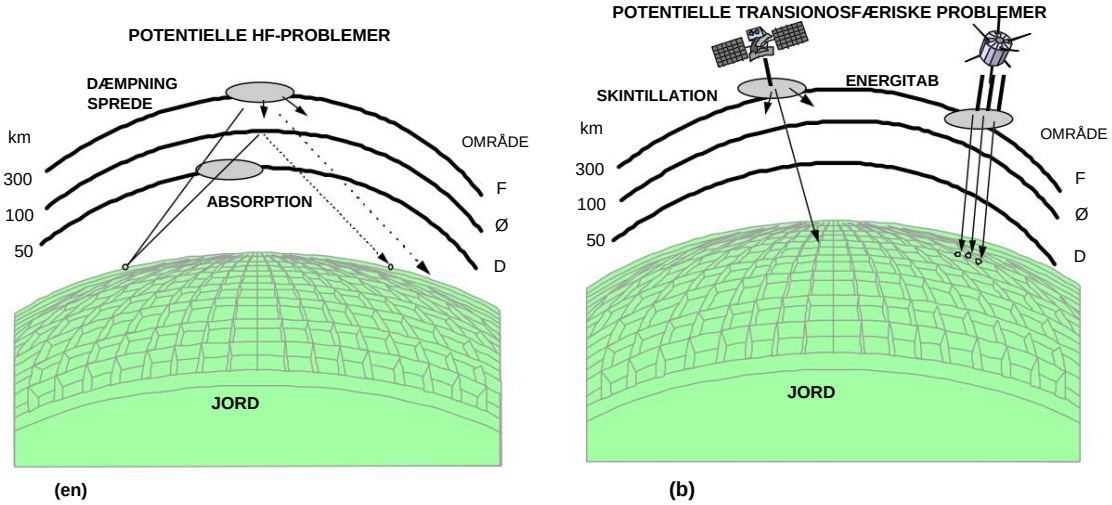
bølger over et meget bredt bånd (30 MHz til 30 GHz). HF-modifikation producerer uregelmæssigheder i elektrontætheden

der forårsager scintillation over et bredt frekvensområde. Størrelsen af uregelmæssighederne bestemmer hvilke

frekvensbåndet vil blive påvirket. Forståelse af, hvordan man kontrollerer spektret af kunstige uregelmæssigheder

Machine Translated by Google

genereret i HF-modifikationsprocessen bør være et primært mål for forskning på dette område. Derudover kan det være muligt at undertrykke væksten af naturlige ujævnheder, hvilket resulterer i reducerede niveauer af naturlig scintillation. At skabe kunstig scintillation ville give os mulighed for at forstyrre satellittransmissioner over udvalgte regioner. Ligesom den ovenfor beskrevne HF-forstyrrelse ville sådanne handlinger sandsynligvis ikke kunne skelnes fra naturligt forekommende miljøhændelser. Figur 4-4 viser, hvordan kunstigt ioniserede områder kan bruges til at forstyrre HF-kommunikation via dæmpning, spredning eller absorption (fig. 4.4a) eller forringe satellitten kommunikation via scintillation eller energitab (fig. 4-4b) (fra Ref. 25).



Kilde: Microsoft Clipart Gallery ÿ 1995 med tilladelse fra Microsoft.

Figur 4-4. Scenarier for forringelse af telekommunikation

Eksploderende/ deaktiverende rumfartøjer, der bevæger sig i det nære rum. Ionosfæren kunne potentielt være kunstigt ladet eller injiceret med stråling på et bestemt punkt, så det bliver ugæstfrit for satellitter eller andre rumstrukturer. Resultatet kan variere fra midlertidig deaktivering af målet til dets fuldstændige ødelæggelse via en induceret eksplosion. Effektiv udnyttelse af en sådan kapacitet afhænger naturligvis af evnen til at anvende det selektivt på udvalgte områder i rummet.

Opladning af rumaktiver ved energioverførsel i nærrummet. I modsætning til den beskrevne skadelige kapacitet Ovenfor kan områder af ionosfæren potentielt modificeres eller bruges som de er til at revitalisere rumaktiver, f.eks. for eksempel ved at oplade deres strømforsyningssystemer. Ionosfærens naturlige ladning kan tjene til at levere det meste eller al den energi, der tilføres satellitten. Der har været en række artikler i det sidste årti om elektriske

Machine Translated by Google

opladning af rumfartøjer; ifølge en forfatter, "på trods af den betydelige indsats, der er gjort i
Både teoretisk og eksperimentelt er problemet med køretøjsopladning langt fra fuldstændigt løst.
forstået."33 Selvom den tekniske udfordring er betydelig, er potentialet for at udnytte elektrostatisk energi til
brændstof til satellittens kraftceller ville have en høj udbytte, hvilket muliggør forlængelse af levetiden for rumaktiver på et
relativt lave omkostninger. Derudover udnyttes kraftfulde HF-radiobølgers evne til at accelerere
elektroner til relativt høje energier kan også fremme nedbrydningen af fjendtlige rumaktiver gennem
rettet bombardement med de HF-inducerede elektronstråler. Som med kunstig HF-kommunikation
forstyrrelser og induceret scintillation, ville nedbrydningen af fjendtlige rumfartøjer med sådanne teknikker være
effektivt umulig at skelne fra naturlige miljøeffekter. Undersøgelse og optimering af HF
Accelerationsmekanismer til både venlige og fjendtlige formål er et vigtigt område for fremtidig forskning
indsats.

Kunstigt vejr

Selvom de fleste vejrmodificerende tiltag er afhængige af eksistensen af visse præeksisterende forhold, kan det
være muligt at producere visse vejreffekter kunstigt, uanset præeksisterende forhold. For eksempel,
virtuelt vejr kunne skabes ved at påvirke de vejroplysninger, som en slutbruger modtager.
opfattelse af parameterværdier eller billeder fra globale eller lokale meteorologiske informationssystemer ville
afvige fra virkeligheden. Denne forskel i opfattelse ville føre til, at slutbrugeren foretager forringede driftsforhold
beslutninger.

Nanoteknologi tilbyder også muligheder for at skabe simuleret vejr. En sky, eller flere skyer, af
mikroskopiske computerpartikler, der alle kommunikerer med hinanden og med et større kontrolsystem, kunne
give enorm kapacitet. Sammenkoblet, atmosfærisk opdrift og med navigationskapacitet i
tre dimensioner, kunne sådanne skyer designes til at have en bred vifte af egenskaber. De kunne udelukkende
blokere optiske sensorer eller kunne justere sig for at blive uigennemtrængelige for andre overvågningsmetoder. De kunne også
tilvejebringe en atmosfærisk elektrisk potentialforskel, som ellers måske ikke ville eksistere, for at opnå præcise resultater
målrettede og timede lynnedslag. Selv hvis de opnåede effektniveauer var utilstrækkelige til at være et effektivt lynnedslag
våben, kunne potentialet for psykologiske operationer i mange situationer være fantastisk.

Machine Translated by Google

En væsentlig fordel ved at bruge simuleret vejr til at opnå en ønsket effekt er, at i modsætning til andre tilgange, får det, der ellers er resultater af bevidste handlinger, til at fremstå som konsekvenserne af naturlige vejrfænomener. Derudover er det potentielt relativt billigt at gøre. Ifølge J. Storrs Hall, en forsker ved Rutgers University, der forsker i nanoteknologi, produktionsomkostningerne for disse nanopartikler kunne koste omtrent den samme pris pr. pund som kartofler.34 Dette udelukker naturligvis forskning og udviklingsomkostninger, som primært vil blive båret af den private sektor og betragtes som en irreversibel omkostning af 2025 og sandsynligvis tidligere.

Opsummering af operationskonceptet

Vejret påvirker alt, hvad vi gør, og vejrmodifikationer kan forbedre vores evne til at dominere rumfartsmiljøet. Det giver kommandøren værktøjer til at forme kampområdet. Det giver logistikeren værktøjer for at optimere processen. Det giver krigerne i cockpittet et operationsmiljø, der bogstaveligt talt er skabt til deres behov. Nogle af de potentielle muligheder, som et vejrmodificeringssystem kunne tilbyde en krigsførende CINC er opsummeret i tabel 1 i resuméet).

Noter

[1] Et pilotprogram kendt som Projekt Skipper Skræk, udført i 1966, forsøgte at forlænge monsunsæsonen for at øge mængden af mudder på Ho Chi Minh-ruten og derved reducere fjendens bevægelser. Et sølviodidkernestof blev spredt fra WC-130-, F4- og A-1E-fly ind i skyerne over dele af ruten, der snoede sig fra Nordvietnam gennem Laos og Cambodja til Sydvietnam. Positive resultater under dette indledende program førte til fortsatte operationer fra 1967 til 1972. Mens virkningerne af dette program stadig er omdiskuterede, mener nogle forskere, at det resulterede i en betydelig reduktion i fjendens evne til at bringe forsyninger til Sydvietnam langs ruten. EM Frisby, "Vejrmodifikation i Sydøstasien, 1966–1972," *The Journal of Weather-modification* 14, nr. 1 (april 1982): 1-3.

[2] William M. Gray et al., "Vejrmodifikation ved absorption af kulstofstøv i solenergi," *Journal of Applied Meteorology* 15 (april 1976): 355. 3 Ibid. 4 Ibid.

[5] Ibid., 367. 6

AWS PLAN 813 Bilag I Bilag Alfa (Scott AFB, Ill.: Air Weather Service/(MAC) 14. januar 1972), 11. Herefter citeret som Bilag Alfa.

[7] Kaptajn Frank G. Coons, "Spredning af varm tåge – en anden historie," *Aerospace Safety* 25, nr. 10 (oktober 1969): 16. 8

Bilag Alfa, 14.

Machine Translated by Google

[9] Warren C. Kocmond, “Spredning af naturlig tåge i atmosfæren,” *NASA Researchs fremskridt om egenskaber ved varm tåge og modifikationskoncepter,* NASA SP-212 (Washington, DC: Videnskabelig og Teknisk Informationsafdeling under Kontoret for Teknologiudnyttelse af den Nationale Luftfarts- og Rumadministrationen, 1969), 74.

[10] James E. Jiusto, “Nogle principper for tågemodifikation med hygrosopiske kerner,” *NASA's fremskridt Forskning i egenskaber ved varm tåge og modifikationskoncepter,* NASA SP-212 (Washington, DC: Videnskabelig og Teknisk Informationsafdeling under Kontoret for Teknologiudnyttelse af det Nationale Luftfarts- og Rumfartsadministrationen, 1969), 37.

[11] Maj Roy Dwyer, *Category III or Fog Dispersal,* MU 35582-7 D993a c.1 (Maxwell AFB, Ala.: Air Universitetsforlaget, maj 1972), 51.

[12] James McLare, *Pulp & Paper* 68, nr. 8 (august 1994): 79.

[13] Milton M. Klein, *En forundersøgelse af brugen af strålingsenergi til tågespredning,* abstract (Hanscom AFB, Massachusetts: Luftvåbnets Materielkommando, oktober 1978).

[14] Edward M. Tomlinson, Kenneth C. Young og Duane D. Smith, *Laserteknologiske anvendelser til Bortskaffelse af varm tåge på flyvepladser,* PL-TR-92-2087 (Hanscom AFB, Mass.: Luftvåbensmateriale Kommando, 1992).

[15] J. Storrs Hall, “Overblik over nanoteknologi”, tilpasset fra artikler af Ralph C. Merkle og K. Eric Drexler, internetadresse: http://nanotech.rutgers.edu/nanotech-/intro.html, Rutgers Universitet, november 1995.

[16] Robert A. Sutherland, “Resultater af menneskeskabt tågeeksperiment,” *Proceedings of the 1991 Battlefield Atmosfærisk konference* (Fort Bliss, Texas: Hinman Hall, 3.-6. december 1991).

[17] Christopher Centner et al., “Miljøkrig: Implikationer for politikere og krig "Planlæggere" (Maxwell AFB, Alabama: Air Command and Staff College, maj 1995), s. 39.

[18] Louis J. Battan, *Høst af skyerne* (Garden City, NY: Doubleday & Co., 1960), s. 120.

[19] Fakta om sag 55, nr. 2866 (2. november 1995).

[20] Gene S. Stuart, “Hvirvelvinde og tordenvejr,” *Nature on the Rampage* (Washington, DC: National Geographic Society, 1986), 130.

[21] Ibid., 140.

[22] Heinz W. Kasemir, “Lyndæmpning ved avnesåning og udløst lyn,” i Wilmot N. Hess, red., *Vejr- og klimaændringer* (New York: John Wiley & Sons, 1974), 623–628.

[23] SPACECAST 2020, *Vejrudsigt for rumkommunikation,* hvidbog G, (Maxwell AFB, Ala.: Air War College/2020, 1994).

[24] General Charles Horner, “Rummet set som en udfordring, militærets sidste grænse,” *Forsvarsspørgsmål,* (Udarbejdet erklæring til Senatets Komité for Forsvarsstyrker), 22. april 1993, s. 7.

[25] Lewis M. Duncan og Robert L. Showen, “Gennemgang af sovjetisk forskning i ionosfæriske modifikationer,” i *Ionosfærisk modifikation og dens potentiale til at forbedre eller forringe militærets præstationer* Systemer (AGARD-konferencens forhandlinger 485, oktober 1990), 2-1.

[26] Ibid.

[27] Peter M. Banks, “Oversigt over ionosfærisk modifikation fra rumplatforme,” i *Ionosfærisk Modifikation og dens potentiale til at forbedre eller forringe militære systemers ydeevne* (AGARD) Konferenceprotokollen 485, oktober 1990) 19-1.

[28] Kaptajn Mike Johnson, *Øvre Atmosfæriske Forskning og Modifikation - Tidligere Sovjetunionen* (U), DST-18205-475-92 (Udenlandsk Luftfartsvidenskab og Teknologicenter, AF Efterretningskommando, 24) September 1992), 3. (Hemmeligt) De udtrukne oplysninger er uklassificerede.

[29] Kaptajn Edward E. Hume, Jr., *Atmosfæriske og rummiljøforskningsprogrammer i Brasilien* (U) (Foreign Aerospace Science and Technology Center, AF Intelligence Command, marts 1993), 12. (Hemmelige) udtrukne oplysninger er uklassificerede.

Machine Translated by Google

[30] Paul A. Kossey m.fl. “Kunstige ionosfæriske spejle (AIM),” i *Ionosfærisk modifikation og dens Potentiale til at forbedre eller forringe militære systemers ydeevne* (AGARD-konferencens referater) 485, oktober 1990), 17A-1. [31] Ibid., 17A-7.

[32] Ibid., 17A-10.

[33] BN Maehlum og J. Troim, “Opladning af køretøjer i plasmaer med lav densitet,” i *Ionosfærisk Modifikation og dens potentiale til at forbedre eller forringe militære systemers ydeevne* (AGARD) Konferenceprotokoller 485, oktober 1990), 24-1. 34. sal.

Machine Translated by Google

Kapitel 5

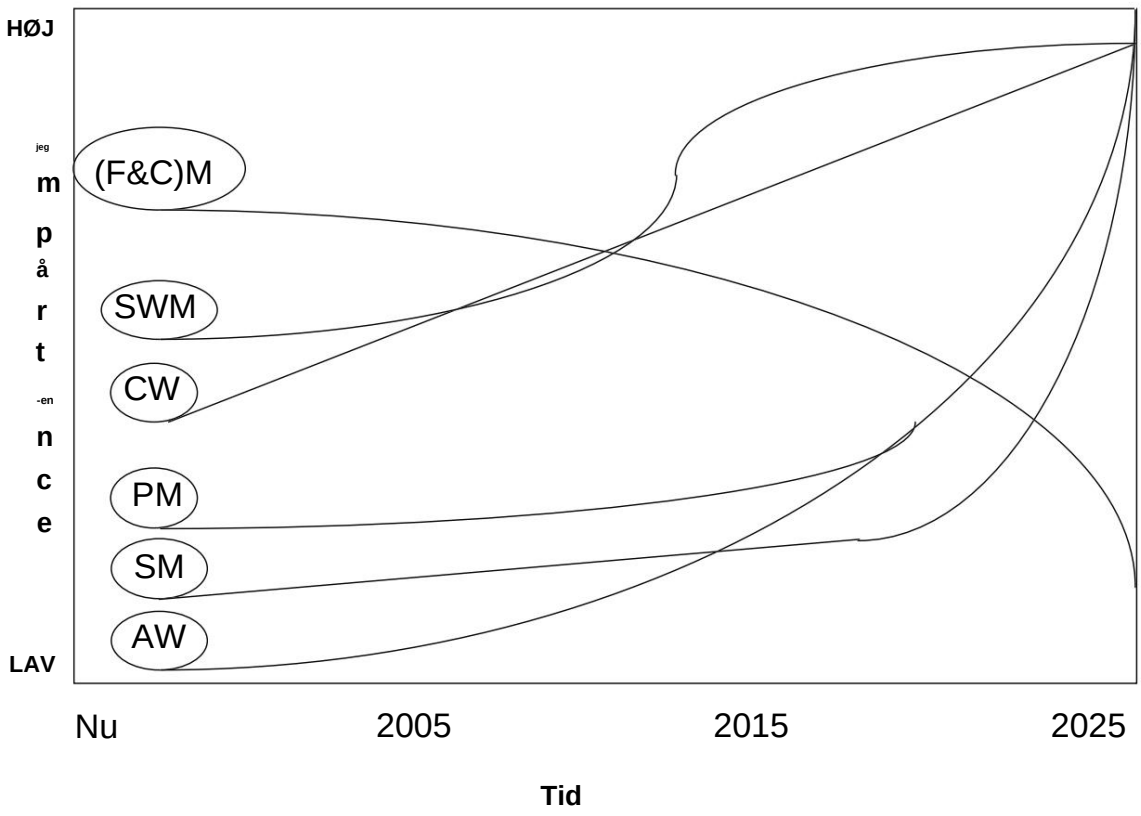
Undersøgelsesanbefalinger

Hvordan kommer vi derhen herfra?

For fuldt ud at forstå udviklingen af de specifikke operationelle kapaciteter til vejrmodifikation kunne levere til krigskæmperen, må vi undersøge og forstå deres forhold til tilhørende kerne kompetencer og udviklingen af deres nødvendige teknologier. Figur 5-1 kombinerer de specifikke de operationelle kapaciteter i tabel 1 i seks kernekapaciteter og viser deres relative betydning over tid. For eksempel er tåge- og skymodifikation i øjeblikket vigtig og vil forblive det i nogen tid fremover. skjule vores aktiver fra overvågning eller forbedre landingssigtbarheden på flyvepladser. Men som overvågning aktiver bliver mindre optisk afhængige, og fly opnår en ægte global landingskapacitet i al slags vejr, tåge og cloud-modifikationsapplikationer bliver mindre vigtige.

I modsætning hertil findes der ikke kunstige vejrteknologier i øjeblikket. Men efterhånden som de udvikles, vil vigtigheden af deres potentielle anvendelser stiger hurtigt. For eksempel den forventede spredning af Overvågningsteknologier i fremtiden vil gøre muligheden for at nægte overvågning stadig mere værdifuld. I et sådant miljø kunne skyer lavet af smarte partikler, som beskrevet i kapitel 4, give en præmie evne.

Machine Translated by Google



Figur 5-1. En køreplan for kernekompetencer til vejrmodifikation i 2025.

Selv nutidens mest teknologisk avancerede militære styrker foretrækker normalt at kæmpe i klart vejr. og blå himmel. Men efterhånden som krigsføringsteknologier spreder sig, vil den side med den teknologiske fordel foretrækker at kæmpe i vejr, der giver dem en fordel. Den amerikanske hær har allerede hentydet til denne tilgang i deres konceptet om at "eje vejret".1 Derfor vil stormmodifikation blive mere værdifuld over tid. Betydningen af nedbørsmodifikation vil sandsynligvis også stige i takt med at brugbare vandkilder bliver mere sjælden i ustabile dele af verden.

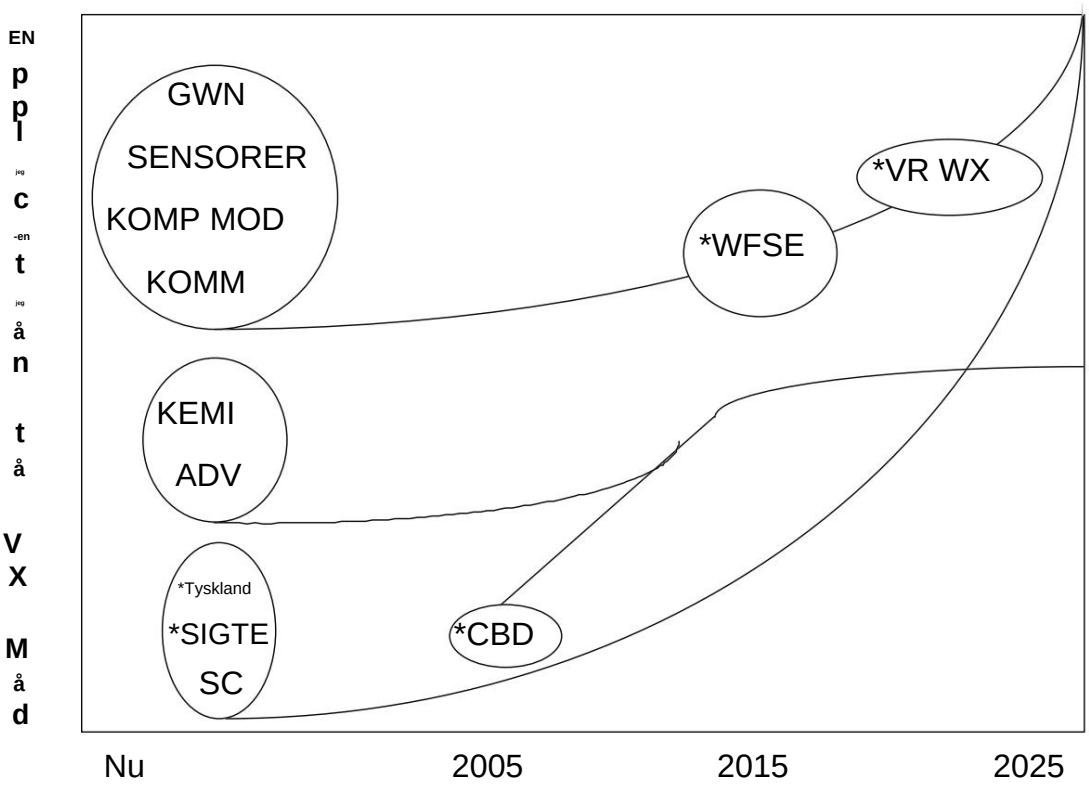
Efterhånden som flere lande forfølger, udvikler og udnytter stigende typer og grader af vejrmodifikation teknologier, skal vi være i stand til at opdage deres indsats og modvirke deres aktiviteter, når det er nødvendigt. afbildet, vil de teknologier og kapaciteter, der er forbundet med en sådan rolle i modvejr, blive stadig vigtigere.

Machine Translated by Google

Betydningen af modifikation af rumvejr vil vokse med tiden. Dens stigning vil være hurtigere i starten.
da de teknologier, den bedst kan understøtte eller modvirke, spreder sig hurtigst muligt. Senere, efterhånden som disse teknologier modnes eller bliver forældet, vil vigtigheden af modifikation af rumvejr fortsætte med at stige, men ikke så hurtigt.

For at opnå de kernefunktioner, der er vist i figur 5-1, kan de nødvendige teknologier og systemer muligvis udviklet i henhold til processen vist i figur 5-2. Denne figur illustrerer systemudviklingen den nødvendige timing og rækkefølge for at realisere en vejrmodificeringskapacitet for kampområdet inden 2025. Den vandrette akse repræsenterer tid. Den lodrette akse angiver i hvilken grad en given teknologi vil blive anvendt til vejrmodifikation. Som de primære brugere vil militæret være den primære udvikler af Teknologier markeret med en asterisk. Den civile sektor vil være den primære kilde til de resterende teknologier.

Machine Translated by Google



Legende

ADV	Luftfartsleveringskøretøjer	Tyskland	Rettet energi
SIGTE	Kunstige ionosfæriske spejle	**GWN**	Globalt vejrnetværk
KEMI	Kemikalier	**SC**	Smarte skyer (nanoteknologi)
CBD	Kulstofsort støv	**SENSORER**	Sensorer
KOMM	Kommunikation	**VR WX**	Virtuelt vejr
COMP MOD	Computermodellering	**WFSE**	Vejrstyrke-støtteelement

***** Teknologier, der skal udvikles af DOD

Figur 5-2. En systemudviklingskøreplan til vejrmodifikation i 2025.

Konklusioner

Verdens begrænsede ressourcer og fortsatte behov vil drive ønsket om at beskytte mennesker og ejendom og mere effektivt udnytte vores afgrøder, skove og græsningsarealer. Muligheden for at ændre vejret kan være ønskeligt både af økonomiske og forsvarsmæssige årsager. Det globale vejrsystem er beskrevet som en række af kugler eller bobler. Hvis man trykker ned på én, popper en anden op.2 Vi skal vide, hvornår en anden magt "presser" på en sfære i deres region, og hvordan det vil påvirke enten vores eget territorium eller områder af økonomisk og politisk interesse for USA.

Machine Translated by Google

Der er allerede i gang en indsats for at skabe mere omfattende vejrmodeller, primært for at forbedre prognoser, men forskere forsøger også at påvirke resultaterne af disse modeller ved at tilføje små mængder af energi på det helt rigtige tidspunkt og sted. Disse programmer er ekstremt begrænsede i øjeblikket og er endnu ikke valideret, men der er et stort potentiale for at forbedre dem i de næste 30 år.3

Historiens erfaringer viser, at der i sidste ende vil eksistere en reel evne til at modificere vejret på trods af risiko. Driften eksisterer. Folk har altid ønsket at kontrollere vejret, og deres begær vil tvinge dem at kollektivt og kontinuerligt forfølge deres mål. Motivationen er til stede. De potentielle fordele og styrken er ekstremt lukrative og tiltrækkende for dem, der har ressourcerne til at udvikle dem. Denne kombination af drivkraft, motivation og ressourcer vil i sidste ende producere teknologien. Historien lærer os også, at vi ikke kan har råd til at være uden en vejrmodificeringskapacitet, når teknologien er udviklet og brugt af andre. Selv hvis vi ikke har til hensigt at bruge det, vil andre gøre det. For at kunne genbruge atomvåbenanalogien, har vi brug for at være i stand til at afskrække eller modvirke deres evne med vores egen. Derfor er vejret og efterretningstjenesten Samfundene skal holde sig ajour med andres handlinger.

Som de foregående kapitler har vist, er vejrmodifikation en kraftmultiplikator med enorm kraft, der kunne udnyttes på tværs af hele spektret af krigsmiljøer. Fra at forbedre venlige operationer eller forstyrre fjendens operationer via småskala tilpasning af naturlige vejrmønstre til fuldstændig dominans af global kommunikation og kontrol af modrummet, vejrmodifikation tilbyder krigskæmper en bred vifte af mulige muligheder for at besejre eller undertrykke en modstander. Men mens offensivt vejr-modifikationsbestræbelser ville helt sikkert blive udført af amerikanske styrker med stor forsigtighed og frygt, det er klart at vi ikke har råd til at tillade en modstander at opnå en eksklusiv evne til at modificere vejrforhold.

Noter

[1] Mary Ann Seagraves og Richard Szymber, "Vejret er en kraftmultiplikator," *Military Review,* november/december 1995, s. 69.

[2] Daniel S. Halacy, *Vejrskifterne* (New York: Harper & Row, 1968), 202. 3

William Brown, "Matematikere lærer at tæmme kaos," *New Scientist,* 30. maj 1992, s. 16.

Machine Translated by Google

Bilag A

Hvorfor er ionosfæren vigtig?

Ionosfæren er den del af Jordens atmosfære, der starter i en højde af omkring 48 kilometer og strækker sig 1.900 kilometer eller mere udad. Dette område består af lag af frie elektrisk ladede partikler som transmitterer, bryder og reflekterer radiobølger, hvilket gør det muligt for disse bølger at blive transmitteret over store afstande jorden. Ionosfærens interaktion med indfaldende elektromagnetisk stråling afhænger af egenskaberne af det ionosfæriske lag, transmissionens geometri og strålingens frekvens. For enhver given signalvejen gennem atmosfæren, findes der en række brugbare frekvensbånd. Dette område, mellem den maksimale brugbare frekvens (MUF) og den laveste brugbare frekvens (LUF) er der, hvor radiobølger er reflekteret og brydet af ionosfæren, ligesom et delvist spejl kan reflektere eller bryde synligt lys.1 Den Ionosfærens reflekterende og brydende egenskaber giver mulighed for at transmittere radiosignaler ud over direkte sollys. "Siglinje"-transmission mellem en sender og en modtager. Ionosfærisk refleksion og brydning har derfor næsten udelukkende blevet brugt til langdistance HF-kommunikation (fra 3 til 30 MHz). Radiobølger med frekvenser fra over 30 MHz til 300 GHz bruges normalt til kommunikation, der kræver transmissioner i synslinjen, såsom satellitkommunikation. Ved disse højere frekvenser, radiobølger udbreder sig gennem ionosfæren, hvor kun en lille del af bølgen spredes tilbage i et mønster analogt med en himmelbølge. Kommunikatører får betydelig fordel af at bruge disse frekvenser, da de giver betydeligt større båndbredder og har dermed større datakapacitet; de er også mindre udsat for naturlig interferens (støj).

Selvom ionosfæren fungerer som et naturligt "spejl" for HF-radiobølger, er den i konstant forandring, og dermed kan dens "spejlingsegenskaber" være begrænsede til tider. Ligesom jordisk vejr kan ionosfæriske egenskaber

Machine Translated by Google

ændrer sig fra år til år, fra dag til dag og endda fra time til time. Denne ionosfæriske variabilitet, kaldet rumvejr, kan forårsage upålidelig jord- og rumbaseret kommunikation, der er afhængig af Ionosfærisk refleksion eller transmission. Rumvejrets variation påvirker, hvordan ionosfæren dæmpes, absorberer, reflekterer, bryder og ændrer radiobølgers udbredelses-, fase- og amplitudeegenskaber. Disse vejrafhængige ændringer kan opstå som følge af visse rumvejrforhold, såsom: (1) variation af solstråling, der trænger ind i den øvre atmosfære; (2) solplasmaet, der trænger ind i jordens magnetfelt; (3) gravitationelle atmosfæriske tidevand produceret af solen og månen; og (4) den vertikale hævelse af atmosfæren på grund af solens opvarmning i dagtimerne.2 Rumvejret påvirkes også betydeligt af soludbrud aktivitet, hældningen af jordens geomagnetiske felt og pludselige ionosfæriske ændringer som følge af begivenheder som f.eks. geomagnetiske storme.

Kort sagt er ionosfærens iboende reflektionsevne en naturlig gave, som mennesker har brugt til at skabe langtids-afstandskommunikation, der forbinder fjerne punkter på kloden. Imidlertid er naturlig variation i ionosfæren reducerer pålideligheden af vores kommunikationssystemer, der er afhængige af ionosfærisk refleksion og refraktion (primært HF). For det meste er højere frekvenskommunikation såsom UHF-, SHF- og EHF-båndene transmitteres gennem ionosfæren uden forvrængning. Disse bånd er dog også udsat for nedbrydning forårsaget af ionosfærisk scintillation, et fænomen induceret af pludselige variationer i elektrontætheden langs signalvej, hvilket resulterer i signalfading forårsaget af hurtige variationer i signalvejen og defokusering af signalets amplitude og/eller fase.

Forståelse og forudsigelse af ionosfærisk variabilitet og dens indflydelse på transmission og reflektion af elektromagnetisk stråling har været et meget studeret videnskabeligt forskningsfelt. Forbedring af vores evne til at Observation, modellering og forudsigelse af rumvejr vil forbedre vores kommunikationssystemer betydeligt, både jordbaseret og rumbaseret. Der udføres et betydeligt arbejde, både inden for Forsvarsministeriet og den kommercielle sektor, om forbedring af observation, modellering og prognoser for rumvejr. Selvom betydelige tekniske der er fortsat udfordringer, antager vi i denne undersøgelse, at der vil ske dramatiske forbedringer i disse områder i løbet af de næste par årtier.

Machine Translated by Google

[1] AU-18, *Rumhåndbog, En analytikervejledning bind II.* (Maxwell AFB, Alabama: Air University Press, december 1993), 196.

[2] Thomas F. Tascione, *Introduktion til rummiljøet* (Colorado Springs: USAF Academy Department of Physics, 1984), 175.

Machine Translated by Google

Bilag B

Forskning for bedre at forstå og forudsige ionosfæriske effekter

Ifølge en SPACECAST 2020-undersøgelse med titlen "Space Weather Support for Communications" (Space Weather Support for Communications)

De vigtigste faktorer, der begrænser vores evne til at observere og præcist forudsige rumvejr, er (1) den nuværende ionosfærisk sensorkapacitet; (2) tæthed og hyppighed af ionosfæriske observationer; (3) sofistikering og nøjagtigheden af ionosfæriske modeller; og (4) den nuværende videnskabelige forståelse af ionosfærens fysik-Koblingsmekanismer mellem termosfære og magnetosfære.1 Rapporten anbefaler, at der gennemføres forbedringer i vores evne til at måle ionosfæren vertikalt og rumligt; med dette formål en arkitektur til ionosfærisk kortlægning blev foreslået. Et sådant system ville bestå af ionosfæriske lydgivere og andre sensorer installeret på Forsvarsministeriet og kommercielle satellitkonstellationer (især ved at udnytte det foreslåede IRIDIUM-system og genopfyldning af GPS) og et udvidet jordbaseret netværk af ionosfæriske vertikale lydmålere i USA og andre nationer. Forståelse og forudsigelse af ionosfærisk scintillation ville kræver også opsendelse af en ækvatorial fjernmålingssatellit ud over den i øjeblikket planlagte eller indsatte DOD og kommercielle konstellationer.

Gevinsten ved et sådant system er en forbedring af den ionosfæriske prognosepræcision i forhold til den nuværende interval på 40-60 procent til en forventet nøjagtighed på 80-100 procent. Daglig verdensomspændende ionosfærisk kortlægning ville levere de data, der kræves til præcist at forudsige den daglige, globale jordbaserede udbredelse karakteristika for elektromagnetisk energi fra 3-300 MHz. Denne forbedrede prognose ville hjælpe satellit operatører og brugere, hvilket resulterer i forbedret driftseffektivitet af rumsystemer. Det ville også give en en størrelsesordens forbedring i lokaliseringen af kilderne til taktisk radiokommunikation, hvilket muliggør Placering og sporing af fjendtlige og venligtsindede platforme.2 Forbedret evne til at forudsige ionosfæriske temperaturer

Machine Translated by Google

Scintillation ville give et middel til at forbedre kommunikationens pålidelighed ved brug af alternative strålebaner eller videresende til uforstyrrede områder. Det ville også gøre det muligt for driftsmæssige brugere at fastslå, om der var strømafbrydelser på grund af naturligt forekommende ionosfærisk variation i modsætning til fjendtlig handling eller hardwareproblemer.

Disse fremskridt inden for ionosfærisk observation, modellering og forudsigelse ville forbedre pålideligheden og robustheden af vores militære kommunikationsnetværk. Ud over deres betydelige fordele for vores eksisterende kommunikationsnetværk, er sådanne fremskridt også nødvendige for yderligere udnyttelse af ionosfæren via aktiv modifikation.

Noter

1 SPACECAST 2020, *Space Weather Support for Communications,* hvidbog G, (Maxwell AFB, Alabama: Air War College/2020, 1994). 2 Refereret i ibid.

Machine Translated by Google

Bilag C

Akronymer og definitioner

AOC	luftoperationscenter
AOR	ansvarsområde
ATO	luftopgaveordre
EHF	ekstra høj frekvens
GWN	globalt vejrnetværk
HF	høj frekvens
IR-effekt	infrarød
LF	lavfrekvens
LUF	laveste brugbare frekvens
Mesoskala	mindre end 200 km2
Mikroskala	det umiddelbare lokalområde
MUF	maksimal brugbar frekvens
MW	mikrobølgeovn
OTH	over horisonten
PGM	præcisionsstyret ammunition
RF	radiofrekvens
SAR	syntetisk aperturradar
SARSAT	satellitbaseret sporing af eftersøgning og redning
SHF	superhøj frekvens
STED	satellitpositionering og sporing
Drone	ubeboet rumfartøj
UV-lys	ultraviolet
VHF-telefon	meget høj frekvens
WFS	vejrstyrkespecialist
WFSE	Vejrkraftstøtteelement
WX	vejr

Machine Translated by Google

Bibliografi

Appleman, Herbert S. *En introduktion til vejrmodifikation.* Scott AFB, Ill.: Luftvejrtjeneste (MAC), september 1969.

AU-18, *Rumhåndbog, En analytikervejledning bind II.* Maxwell AFB, Alabama: Air University Press, december 1993.

AWS PLAN 813, bilag I, bilag Alfa. Scott AFB, Ill.: Air Weather Service (MAC), 14. januar 1972.

Banks, Peter M. "Oversigt over ionosfærisk modifikation fra rumplatforme." I *Ionosfærisk modifikation og dens potentiale til at forbedre eller forringe militære systemers ydeevne,* AGARD-konferenceprotokollerne 485, oktober 1990.

Batton, Louis J. *Høstning af skyerne.* Garden City, NY: Doubleday & Co., 1969.

Brown, William. "Matematikere lærer at tæmme kaos." *New Scientist,* 30. maj 1992.

Byers, Horace R. "Vejrmodifikationens historie." I Wilmot N. Hess, red., *Vejr og klima Ændring.* New York: John Wiley & Sons, 1974.

Centner, Christopher m.fl., "Miljøkrigsførelse: Implikationer for politikere og krigsplanlæggere." Maxwell AFB, Alabama: Air Command and Staff College, maj 1995.

Coons, kaptajn Frank G. "Spredning af varm tåge – en anden historie." *Aerospace Safety* 25, nr. 10 (oktober 1969).

CJCSI 3810.01, Meteorologiske og oceanografiske operationer, 10. januar 1995.

Dawson, George. "En introduktion til atmosfærisk energi." I Wilmot N. Hess, red., *Vejr og klima Ændring.* New York: John Wiley & Sons, 1974.

Duncan, Lewis M., og Robert L. Showen "Gennemgang af sovjetisk forskning i ionosfærisk modifikation." I *Ionosfærisk modifikation og dens potentiale til at forbedre eller forringe militære systemer,* AGARD-konferenceforhandlingerne 485, oktober 1990.

Dwyer, Maj Roy. *Kategori III eller tågespredning,* MU 35582-7 D993a. Maxwell AFB, Ala.: Air University Press, maj 1972.

Eisenhower, Dwight E. "Korstog i Europa" citeret i John F. Fuller, red., *Thor's Legions.* Boston: Amerikansk Meterologiselskab, 1990.

Fakta om sag 55, nr. 2866 (2. november 1995).

Frisby, EM "Vejrmodifikation i Sydøstasien, 1966–1972." *The Journal Of Weather-ændringsforslag* 14, nr. 1 (april 1982).

Frisby, EM "Vejrmodifikation i Sydøstasien, 1966-1972." *Journal of Applied Meteorology* 15 (april 1976).

Gray, William M., et al. "Vejrmodifikation ved absorption af kulstofstøv i solenergi." *Journal of Anvendt Meteorologi* 15, (april 1976).

Halacy, Daniel S. *Vejrskifterne.* New York: Harper & Row, 1968.

Machine Translated by Google

Hall, J. Storrs. “Overblik over nanoteknologi” Bearbejdet fra artikler af Ralph C. Merkle og K. Eric Drexler. Internetadresse: http://nanotech.rutgers.edu/nanotech/-intro.html (Rutgers University, november 1995).

Horner, general Charles. “Rummet set som en udfordring, militærets sidste grænse” (Udarbejdet erklæring til Senatet) (Komitéen for de Væbnede Styrker) *Forsvarsspørgsmål,* 22. april 1993.

Hume, kaptajn Edward E., Jr. Atmosfæriske og rummiljøforskningsprogrammer i Brasilien (U), marts 1993. Foreign Aerospace Science and Technology Center, AF Intelligence Command, 24. september 1992. (Hemmeligt) De udtrukne oplysninger er uklassificerede.

James, GE “Kaosteori: Det essentielle for militære anvendelser” *ACSC Teaterluftkampagnestudier Kursusbog,* AY96, bind 8. Maxwell AFB, Alabama: Air University Press, 1995.

Jiusto, James E. “Nogle principper for tågemodifikation med hygroskopiske kerner” *Fremskridt i NASA-forskning om varme tågeegenskaber og modifikationskoncepter,* NASA SP-212. Washington, DC: Videnskabelig og Teknisk Informationsafdeling under Kontoret for Teknologiudnyttelse under National Aeronautics and Space Administration, 1969.

Johnson, kaptajn Mike. *Øvre atmosfærisk forskning og modifikation - Tidligere Sovjetunionen* (U) støttedokument DST-18205-475-92, Foreign Aerospace Science and Technology Center, AF Intelligence Command, 24. september 1992. (Hemmeligt) De udtrukne oplysninger er uklassificerede.

Kasemir, Heinz W. “Lyndæmpning ved avnesåning og udløst lyn.” I Wilmot N. Hess, red., *Vejr- og klimaændringer.* New York: John Wiley & Sons, 1974.

Keaney, Thomas A., og Eliot A. Cohen, *Sammenfattende rapport om undersøgelsen af luftmagten i Golfkrigen.* Washington DC: GPO, 1993.

Klein, Milton M. *En forundersøgelse af brugen af strålingsenergi til tågespredning.* Resumé. Hanscom AFB, Massachusetts: Luftvåbnets Materielkommando, oktober 1978.

Kocmond, Warren C. “Spredning af naturlig tåge i atmosfæren,” *Fremskridt i NASA-forskning om egenskaber og modifikationskoncepter ved varm tåge,* NASA SP-212. Washington, DC: Division for videnskabelig og teknisk information under Office of Technology Utilization under National Aeronautics and Space Administration, 1969.

Kossey, Paul A., et al. “Kunstige ionosfæriske spejle (AIM) A. Koncept og problemstillinger,” i *Ionosfærisk modifikation og dens potentiale til at forbedre eller forringe militære systemers ydeevne,* AGARD-konferenceprotokollerne 485, oktober 1990.

Maehlum, BN og J. Troim, “Køretøjsopladning i lavdensitetsplasmaer” i *Ionosfærisk modifikation og dens potentiale til at forbedre eller forringe militære systemer.* AGARD-konferenceforhandlinger 485, oktober 1990.

McLare, James. *Pulp & Paper* 68, nr. 8, august 1994.

Meyer, William B. “Det amerikanske vejrs liv og tider: Hvad kan vi gøre ved det?” *American Heritage* 37, nr. 4 (juni/juli 1986).

Petersen, kontreadmiral Sigmund. “NOAA bevæger sig mod det 21. århundrede.” *The Military Engineer* 20, nr. 571 (juni-juli 1995).

Riley, oberstløjtnant Gerald F., vejrofficer for CENTCOM, OIC for CENTAF Weather Support Force og chef for 3. vejreskadrille. I "Desert Shield/Desert Storm Interview Series", interviewet af Dr. William E. Narwyn, AWS-historiker, 29. maj 1991.

Seagraves, Mary Ann og Richard Szymber “Vejret er en kraftmultiplikator.” *Military Review,* November/december 1995.

SPACECAST 2020. Hvidbog *om rumvejrstøtte til kommunikation* G. Maxwell AFB, Alabama: Luft Krigsskolen/2020, 1994.

Machine Translated by Google

Stuart, Gene S. “Hvirvelvinde og tordenvejr,” i *Nature on the Rampage.* Washington DC: National Geografisk Selskab, 1986.

Sullivan, general Gordon R. “Moving into the 21st Century: America's Army and Modernization” (Ind i det 21. århundrede: Amerikas hær og modernisering) *Military Review.* Juli 1993. Citeret i Mary Ann Seagraves og Richard Szymber “Weather a Force Multiplier” (Vejret er en kraftmultiplikator) *Militærtidsskriftet,* november/december 1995.

Sutherland, Robert A. “Resultater af menneskeskabt tågeeksperiment,” *i Proceedings of the 1991 Battlefield Atmosfærisk konference.* Fort Bliss, Texas: Hinman Hall, 3.-6. december 1991.

Tascione, Thomas F. *Introduktion til rummiljøet.* Colorado Springs: USAF Academy Department of Physics, 1984.
Tomlinson, Edward M., Kenneth C. Young og Duane D. Smith *Laserteknologiske anvendelser til bortledning af varm tåge på flyvepladser,* PL-TR-92-2087. Hanscom AFB, Mass.: Air Force Materiel Command, 1992.

USAF's videnskabelige rådgivende udvalg. *Nye verdensudsigter: Luft- og rummagt til det 21. århundrede,* resumé. Washington, DC: USAF's videnskabelige rådgivende udvalg, 15. december 1995.

Det amerikanske udenrigsministerium. *Udenrigsministeriets Bulletin* 76, nr. 1981 (13. juni 1977).